This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

A 446043

II.

Die

Artillerie-Schießkunst

aus

Preußischen gezogenen Geschützen

für

Leser von allen Waffen und für alle Freunde der Artillerie

in populärer Form dargestellt

von

Martin Prehn,

Oberfeuerwerker in der Königlich Preußischen Garde-Artillerie-Brigade,

Verfasser einer „Ballistik der gezogenen Geschütze," eines „Versuches über die Elemente der innern Ballistik" und kleinerer Schriften für den Kriegsgebrauch.

(Mit 100 Holzschnitten und zwei lithographirten Tafeln.)

Berlin, 1867.

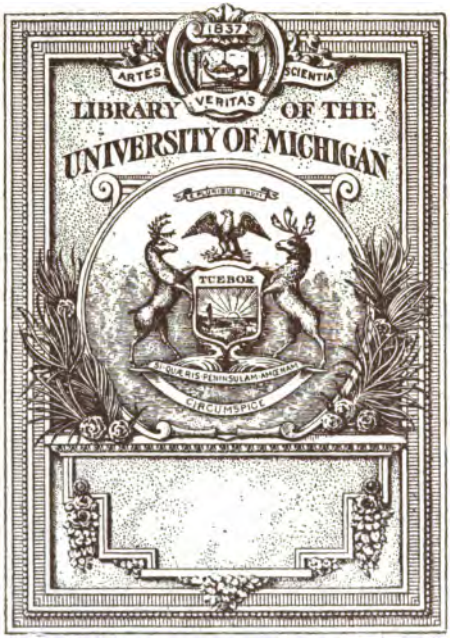
Vossische Buchhandlung

(Strikker),

Charlottenstr. 42, Ecke der Dorotheenstr.

II.

G 2815.



[redacted]

UF
7.
P923

Die

Artillerie-Schießkunst

aus

Preußischen gezogenen Geschützen

für

Leser von allen Waffen und für alle Freunde der Artillerie

in populärer Form dargestellt

von

Martin Prehn,

Oberfeuerwerker in der Königlich Preußischen Garde-Artillerie-Brigade,

Verfasser einer „Ballistik der gezogenen Geschütze," eines „Versuches über die Elemente der innern Ballistik" und kleinerer Schriften für den Kriegsgebrauch.

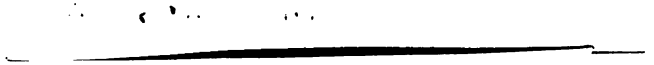
(Mit 100 Holzschnitten und zwei lithographirten Tafeln.)

Berlin, 1867.

Vossische Buchhandlung

(Strikker),

Charlottenstr. 42, Ecke der Dorotheenstr.



Seiner Excellenz

dem Königlich Preußischen General der Infanterie,

General-Inspecteur der Artillerie,

Ritter höchster Orden ꝛc.

Herrn von Hindersin

in

dankbarer Ehrerbietung

gehorsamst zugeeignet

vom

Verfasser.

991

Vorwort.

An Leser von allen Waffen und an alle Freunde der Artillerie wende ich meine Bitte, ihre Aufmerksamkeit meiner Arbeit schenken zu wollen.

Unsere Infanteriewaffe hat die Eifersucht Europas erweckt, und die Folge der Ausgleichung in der Güte dieses Kampfmittels wird sein, daß die Artillerie in noch höherem Grade theilnehmen müssen wird an der Entscheidung der Schlachten, als es in dem kurzen Riesenkampfe von 1866 ihr vergönnt war. Alle Völker haben gleichmäßig in dem Geschützwesen so großartige Fortschritte gemacht, daß es im Felde sich kaum um die Mächtigkeit und die bloße Schießplatzgüte der Geschütze handeln, sondern daß der Werth unserer Waffe in dem Personal, in dessen Geschicklichkeit, ihre Tugenden auszubeuten, liegen wird. Diese Geschicklichkeit ist durch die Kostbarkeit der Schießversuche nicht allein praktisch zu erreichen; vielmehr ist es eine hohe Pflicht des Artilleristen, durch sein Wissen die wenigen allgemeinen Uebungen für das Vaterland nutzbar zu machen.

Man darf unmöglich von dem Artilleristen verlangen, unbedingt das, was er mit Aufwand von Wissen in der Studirstube durch Formeln erlangte, im Momente der Gefahr lebendig werden zu lassen. Dennoch müssen dem Offizier stets das Bild der Flugbahnen z. B. beim Shrapnelschießen, die Richtung und Geschwindigkeit des Geschoßfluges z. B. beim indirekten Schusse oder beim Beschießen sehr hoch gelegener Werke mit starken Ladungen und geringen Elevationen — es müssen dem Unteroffizier die Resultate der Wahrscheinlichkeitslehre bei jeder Korrektur gegenwärtig sein. Es ist darum für unsere Schußwissenschaft eine Form Bedürfniß, welche ohne tiefe mathematische

Untersuchungen ihre Sätze aus dem Besitze Einzelner in das Gemeingut der allgemeinen Bildung treten läßt. Also nicht allein, weil es unbequem ist, neben der Schußtafel und einem Buche, welches sie erläutern soll, besonderer Hülfsmittel, als Logarithmentafel oder physikalischer Lehrbücher, zu bedürfen, sondern, um womöglich keinen Leser zu finden, welcher mein Buch als unverständlich aus der Hand legt, habe ich mathematische Herleitungen vermieden. Ich habe vorausgesetzt, der Leser möge das überschlagen, was ihm selbstverständlich ist, z. B. die Entstehung der parabolischen Flugbahn, während es einem mathematisch weniger geübten Leser vielleicht wünschenswerth erscheinen möchte. Hiermit verbinde ich den Wunsch, daß viele dieser nothwendigen Kenntnisse auch in die Unteroffiziere und Kanoniere dringen möchten, da ja diese das Geschütz in der Hand haben.

Indem ich einen Weg betrete, welcher von unsern großen Lehrern geebnet und in unseren Schußtafeln so deutlich vorgezeichnet ist, glaube ich, der Waffe das bieten zu können, was für die Ausführung des Schießens nach jeder Richtung als Basis eines fruchtbringenden Studiums von der Wissenschaft gefordert werden muß. Ich erwarte durchaus nicht, daß man bei der Neuheit einer solchen Arbeit und der sehr reichlichen Fülle derselben alle meine Ansichten für durchaus wahr halten müsse; vielmehr gebe ich nur den Rahmen, dem praktischen Artilleristen überlassend, durch eigene Anwendungen die Ergebnisse der Wissenschaft zum Werkzeuge seines Willens zu machen. Den klingenden Namen habe ich meiner Arbeit nicht ihretwegen gegeben, sondern um zu bezeichnen, daß unserem Wissen und Wollen sich das Können zugesellen muß.

Mein Ziel ist, dem Vaterlande nützlich zu sein.

Berlin, März 1867.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichniß.

Erstes Kapitel.

Von den Flugbahnen im Allgemeinen.

Seite.

1. Einleitung 1

A. Vom Pulver.

2. Zusammensetzung und Zersetzung 1
3. Analyse der Verbrennungsprodukte von Bunsen und Schischkoff 2
4. Zeit der Verbrennung — Spannung 3
5. Wirkung — Gleichheit derselben auf Geschoß und Verschluß — Rücklauf, Bucken 4
6. Gleichmäßiges Ansetzen des Geschosses 5

B. Von der Anfangsgeschwindigkeit.

7. Erklärung 7
8. Arten der Messung 7
9. Eine Uhr 8
10. Elektroballistischer Apparat 8
11. Ballistisches Pendel 9
12. Rotirende Scheiben 10
13. Einige Geschwindigkeiten aus glatten Röhren 10

C. Von der Flugbahn im luftleeren Raum.

a. Das Zusammenwirken zweier Kräfte.

14 u. 15. Parallelogramm der Kräfte 11

b. Die Schwerkraft.

16. Momentane und konstante Kräfte 13
17 u. 18. Fallgesetze (Geschwindigkeitshöhe) 14

c. Zeichnung einer Flugbahn.

19—21. Entstehung der Parabel 16

d. Betrachtung der parabolischen Flugbahn.

ad. 1. Verschiedene Richtungen.

22. 45 Grad giebt die größte Schußweite, 30 Grad und 60 Grad geben gleiche Schußweiten 19
23. Terrainwinkel (positiver und negativer) 22

ad. 2. Verschiedene Anfangsgeschwindigkeiten.

24. Gesetz für die Schußweiten — paraboliſche Formeln . . 24

D. Von den Flugbahnen im lufterfüllten Raume.

a. Geschichtliches.

25. Aeltere Vorstellungen — Linealinterpolation 25

Seite.

b. Der Widerstand des Mittels.
26 u. 27. Beispiele des Luftwiderstandes gegen verschiedene Geschosse 27
28. Newtons Luftwiderstandsgesetz — verschiedene Grundflächen, verschiedene Formen der Geschosse 28
29. Richtung des Luftwiderstandes — Luftwiderstandskonstante 30
30. Einfluß des Geschoßgewichts — Verhältniß des Widerstandes bei unseren verschiedenen Granaten 31
c. Vorstellung von einer Flugbahn mit Rücksicht auf den Luftwiderstand.
31. Zeichnung einer Flugbahn — Einfallwinkel — Endgeschwindigkeit —, ballistische Linie 32
32 u. 33. Vergleich einer ballistischen Linie mit der Parabel 33
d. Zeichnung einer Flugbahn aus der Schußtafel und der Winkeltabelle.
34. Vom Schwenken der Bahnen (24ℭer — 2000 Schritt). 35
35. Gebrauch der Winkeltabelle 36
36. Darstellung der Bahnen der 24ℭer, 12ℭer, 6ℭer und 4ℭer Granaten auf 2000 Schritt 38
e. Eine wichtige Vorstellung von den Flugbahnen aus gezogenen Geschützen.
38. Prüfung der gezeichneten Bahnen durch Vergleich mit ballistischen Rechnungen 40
39. Die Flugbahnen als Kreisbogen 41

Zweites Kapitel.

Von den gezogenen Geschützen und ihren Flugbahnen.

A. Die Wirkung des Pulvergases in den gezogenen Hinterladungsgeschützen.
a. Die Anfangsgeschwindigkeiten.
40. Anfangsgeschwindigkeit und Größe der Ladung 42
41. Anfangsgeschwindigkeit und Länge des Rohres 43
42. Gesetz zwischen beiden 43
43. Einfluß der Länge des Ladungsraumes 44
44. Einfluß des Dralles 45
45. Gesetz zwischen Geschwindigkeit und Ladung — zwischen Geschwindigkeit und Geschoßgewicht — Ladungsquotient 45
46. Gesetz zwischen Geschwindigkeit und Ladungsquotient . 46
47. Gesetz für proportional konstruirte Röhre — Verbrennungsraum 47
48. Das Wachsen der Geschwindigkeiten im 24ℭer Hinterladungsmörser 47
b. Ueber die Spannungen der Pulvergase.
49. Schnelligkeit der Entwickelung — Schwinden der Temperatur — Vorderlader — Gesetz für die Ladungsgewichte (Schießwolle u. s. w.) 48
50. Versuche mit prismatischem und Barytpulver 51
51. Größe der Spannungen im 24ℭer — Vergleich der verschiedenen Kaliber 52

Seite.

B. Von den Schußtafeln der gezogenen Geschütze.

a. Die Fertigung der Schußtafeln.

52. Das Historische unserer Schußtafeln 53
53. Die Bildung der Schußtafeln des 24ers 54

b. Die Verwandtschaft der Schußtafeln verschiedener Kaliber.

54. Verbindung der in der Parabel gefundenen Gesetze mit dem für die Anfangsgeschwindigkeiten unserer Geschosse — Prüfung unserer Schußtafeln 57
I. Gleiche Anfangsgeschwindigkeiten und gleiche Schußweiten verlangen bei verschiedenen Kalibern in gewissen Grenzen gleiche Elevationen 57
55. II. Für gleiche Elevationen und gleiche Geschosse verhalten sich (aus gleichen Röhren) die Schußweiten wie die Ladungen — Beispiele 59
56. Aus der Schußtafel einer Ladung die Elevationen für jede beliebige Ladung herzuleiten 60
57. III. Bei gleichen Ladungen und gleichen Elevationen verhalten sich die Schußweiten umgekehrt wie die Geschoßgewichte (aus gleichen Röhren) 61
58. VI. Verbindung der beiden vorhergehenden Gesetze . . 62
59. V. Allgemeinste Beziehung zwischen Schußtafeln: Aus der Schußtafel für eine Ladung eines Geschützes die Elevation eines anderen Geschützes für jede beliebige Verbindung von Ladung, Geschoß, Schußweite herzuleiten. Oder: Bei allen unseren (bis jetzt konstruirten) gezogenen Geschützen verhalten sich die Schußweiten wie die Ladungsquotienten 63

c. Die Uebertragung von Elevations-Graden in Aufsatz-Zolle.

60. Messen eines Terrainwinkels 64
61. Gestrichen und verglichen Korn bei Festungs-Geschützen . 66
62. Nichtberücksichtigung des Terrainwinkels 67
63. Tabelle zwischen Graden und Zollen bei verschiedenen Visirlinien 68
64. Vom künstlichen Zielpunkt 68
65. Das Klappkorn 69
66. Das Richten auf ganz kleinen Entfernungen 70

d. Von den Einfallwinkeln und den Tangentenwinkeln.

67. Erklärung und Berechnung. (Formel — Anmerkung: Beweis der Gültigkeit eines für die Parabel aufgestellten Satzes auch für Kreisbogen (Beispiele) 72
68. Vergleich der Einfallwinkel bei verschiedenen Kalibern . 74
69. Einfluß des Luftwiderstandes 75
70. Vergleich der Einfallwinkel für verschiedene Ladungen . 76
71. Ermittelung der Tangentenwinkel an beliebigen Bahnpunkten 76
72. Bestimmung des Kulminationspunktes für jede beliebige Bahn — Vergleich mit ballistischen Rechnungen . . . 77
73. Entwickelung eines Verfahrens, sehr hoch gelegene Orte mit starken Ladungen und geringen Elevationen horizontal zu treffen 78

Seite.

74. Erweiterung — hoch gelegene Orte unter beliebigem Winkel zu treffen 80

e. Zeichnung einer Flugbahn auf Grund der in der Schußtafel vorgeschriebenen Aufsätze.

75. Ueber die Verlegung des Treffpunktes auf einer vertikalen Wand durch die Veränderung des Aufsatzes . . 81
76. Beispiele 83
77. Die Rubriken „Aufsatz und Erhöhung" bilden eine Winkeltabelle. Bei einer Visirlinie von ungefähr 56 Zoll (4½ Fuß) ist 1 Zoll 1 Grad 84

f. Der bestrichene Raum.

78. Berechnung — sehr flache Bahnen können ganz im bestrichenen Raume liegen 85
79. Bestimmung des bestrichenen Raumes für beliebige Höhen — Besprechung der Anschauung von dem Schwenken der Bahnen 86
80. Die Gesetze des bestrichenen Raumes 89
81. Beziehung zwischen Geschwindigkeit und bestrichenem Raum 90

C. Das Beschießen gedeckt liegender Ziele oder der indirekte Schuß.

82. Die Aufgabe des indirekten Schusses 91
83. Der (tiefste) beabsichtigte Treffpunkt 92
84. Von dem Winkel γ 92
85. Das erste Verfahren für die Bestimmung von Ladung und Elevation 93
86. Erstes Beispiel 94
87. Zweites Beispiel 96
88. Drittes Beispiel 96
89. Viertes Beispiel 97
90. Fünftes Beispiel 97
91. Der hohe Bogenschuß der Feldgeschütze, Gründe für die Bestimmung der Ladung 98
92. Wahl der Ladung auf gemeinschaftlichen Entfernungen — Berücksichtigung der Lage des Zieles 99
93. Benutzung des künstlichen Zielpunkts 100
94. Zweites Verfahren für die Bestimmung von Ladung und Elevation 101
95. Beispiele 102
96. Drittes Verfahren 103
97. Beispiele 104
98. Allgemeines über die Verwendung des indirekten Schusses — Berücksichtigung der Sprengwirkung verschiedener Kaliber 105

D. Von den Geschwindigkeiten und den Flugzeiten der Geschosse gezogener Geschütze.

a. Von den Anfangsgeschwindigkeiten.

99. Von den Resultaten der Linealinterpolation 107
100. Ermittelung der Anfangsgeschwindigkeit aus der Schußtafel 108
101. Störende Einflüsse — Note über die Unterschiede elektroballistisch gemessener Geschwindigkeiten 110

Seite.

b. Von den Endgeschwindigkeiten.
102. Erklärung — Gipfel- und Endgeschwindigkeiten sind kleiner als in der Parabel 111
103. Ueber die Geschwindigkeitstabellen 112
104. Erkennung des Einflusses des Luftwiderstandes bei verschiedenen Kalibern 112
105. Einfluß von Form und Gewicht des Geschosses — die Endgeschwindigkeiten verhalten bei gleichen Kalibern sich wie die Anfangsgeschwindigkeiten 113
106. Verwerthung der Gesetze der Anfangs- für die Endgeschwindigkeiten 114

c. Von den Geschwindigkeiten in jedem beliebigen Bahntheile.
107. Theoretische Ermittelung 115
108. Cosinus-Tafel 116
109. Vergleich der Gipfel-Geschwindigkeiten zweier verschiedener Ladungen 117
110. Auch im absteigenden Aste nehmen die Geschwindigkeiten ab und zwar sehr gering — Veränderung dieses Gesetzes beim Mörserwurf 117
111. Von den Asymptoten der ballistischen Linie 118

d. Von den Flugzeiten.
112. Bedeutung der Flugzeit-Beobachtungen 120
113. Ermittelung der Flugzeiten aus den bekannten Geschwindigkeiten und umgekehrt 121
114. Gesetze der Flugzeiten 121
115. Oberflächliche Ermittelung der Flugzeiten durch Zählen 122
116. Ermittelung der Endgeschwindigkeiten 123
117. Ermittelung der Anfangsgeschwidigkeiten aus Flugzeiten durch Linealinterpolation 123

E. Von der Rotation der Geschosse gezogener Geschütze und deren Folgen.
118. Erklärung des Drallwinkels und der Ursachen der Rotation 124
119. Von der Fortsetzung der Rotation in der Luft, von der Rotationsgeschwindigkeit und Berechnung der Drallwinkel (Bemerkung über Parallel- und Keilzüge) . . . 126
120. Die Oberflächen-Punkte der Geschosse der verschiedenen Kaliber haben gleiche Geschwindigkeit 127
121. Vorstellung von der Bewegung des Kreisels — Lage des Geschosses zur Bahntangente 128
122. Die aufeinanderfolgenden Tangenten einer Flugbahn sind unter die vorhergehenden gesenkt — dies erklärt mit dem Luftwiderstande die Deviation der Geschosse . . . 129
123. Vom Mittelpunkt paralleler Kräfte 130
124. Richtung der Mittelkraft gegen die Geschoßaxe . . . 131
125. Erklärung der Pendelung der Geschoßaxe — Kräftepaar 132
126. Die Folgen der Rotation — Vorstellung von dem Wege, welchen die Geschoßspitze durchläuft 135
127. Beobachtungen in Bezug auf Deviationen 136
128. Die praktische Benutzung der Deviation 136
129. Dünne und dicke Bleimäntel 137
130. Erklärung der Trägheitsmomente 138

Seite.

131. Ueber den hohen Bogenschuß bis 37½ Grad — die Luftwiderstandskonstante variirt mit der Ladung (Rotationsgeschwindigkeit) 140
132. Ballistische Rechnungen zeigen, daß man nach jetzigem Wissen bis zu 37½ Grad Elevation die Sätze vom Schwanken der Bahnen verwerthen darf 141

F. Von der Kraft der Geschosse gezogener Geschütze.

133. Perkussions- und lebendige Kraft 142
134. Erklärung des Begriffs Masse 142
135. Erklärung von der Arbeit einer Kraft — die Arbeit ist gleich dem halben Produkte aus der Masse und dem Quadrate der Geschwindigkeit — dieses Produkt ist die lebendige Kraft 143
136. Bei gleichen Geschwindigkeiten verhalten sich die Eindrigungstiefen der Geschosse unserer Kaliber wie die Durchmesser 144
137. Einfluß der Form der Geschosse 145
138. Verschiedene Materialien des Zieles 145
139. Einfluß der Anschlagwinkel — Sinustafel 145
140. Die Eindringungstiefen gleicher Geschosse verhalten sich theoretisch wie die Ladungen 147
141. Ueber das Beschießen von Gewölben 149
142. Das Zerschellen der Granaten an Panzern. 150
143. Hohl- und Vollgeschosse geben gleiche Arbeit 151

Anhang. Die verschiedenen Zündvorrichtungen der Hauptartillerien 152

Bemerkung über den Vergleich der Wirkungen verschiedener Kaliber 156

Drittes Kapitel.

Vom praktischen Schießen.

A. Von der Wahrscheinlichkeit des Treffens.

a. Begriff der Wahrscheinlichkeit des Treffens.

144. Erklärung 157
145. Ermittelungen aus einem Schießversuche 158
146. Regel für die Berechnung der mittleren Abweichungen 161
147. Mathematischer Begriff der Wahrscheinlichkeit — absolute und zusammengesetzte Wahrscheinlichkeit 162

b. Vom Trefferberge, der Wahrscheinlichkeitskurve, den Wahrscheinlichkeitsfaktoren und dem wahrscheinlichen Fehler.

148. Der Trefferberg 164
149. Die Wahrscheinlichkeitskurve und -Faktoren. 165
150. Der Wahrscheinlichkeitsquotient — doppelte wahrscheinliche Abweichungen 166
151. Der wahrscheinliche Fehler — das Maß der Präcision 167
152. Beispiel 168

c. Die Trefffähigkeitstabellen.

153. Beschreibung 170

Seite.

154. Prüfung der Tabellen an Anschießergebnissen (Gußstahl 6Zer) 171
Bemerkung über den Einfluß der Rohrlänge (bronzener 6Zer) 172
155. Erkennbare Gesetze der Trefffähigkeit 174

B. Gebrauch der Trefffähigkeitstabellen und Korrekturregeln.

a. Die Trefffähigkeitstabellen gegen horizontale Ziele.

156. Besprechung eines praktischen Falles 176
157. Die Trefffähigkeit unserer Geschütze gegen horizontale Ziele ist bei allen Kalibern praktisch gleich — Schema 177
158. Die ganzen Streuungen sind wahrscheinlich viermal so so groß als die mittleren 178
159. Erstes Beispiel für Längenkorrektur 179
160. Zweites Beispiel 180
161. Allgemeinste Korrekturregeln: Unter 2000 Schritt darf man gegen horizontale Ziele um nicht weniger als 50 Schritt, über 2000 Schritt um nicht weniger als 100 Schritt ändern 180
162. Ueber das Schießen im Feldkriege 181
163. Gedächtniß-Schußtafeln für den Feldgebrauch . . . 182
164. Ueber die Wirkung der Granaten 183

b. Die Trefffähigkeitstabellen gegen vertikale Ziele.

165. Seitenstreuungen 185
166. Abgekürzte Tabellen 185
167. Betrachtung des Schießens nach der Scheibe, das Heranschießen: Bei Entfernungen von 1000 bis 2000 Schritt darf man die Korrekturen für gleiche Abstände von der Scheibe als gleich ansehen 186
168. Regel für Schießübungen: Treffen wir den Fuß einer 6 Fuß hohen Scheibe, so dürfen wir bei langen Visirlinien auf 1000 Schritt durchschnittlich $1/16$ Zoll Aufsatz (bei kurzen Visirlinien $1/2$ Sechzehntel) zusetzen; auf 1500 und 2000 Schritt aber wird gar nicht korrigirt. Regel für den Ernstgebrauch: trifft man den Fuß eines manneshohen Zieles, so wird nicht korrigirt 188
169. Allgemeine Regel: Dividirt man den scheinbaren horizontalen Fehler durch 15 (bei der langen Visirlinie, durch 30 bei der kurzen) so erhält man die nöthige Korrektur in $1/16$ Zollen 189
170. Das Beschießen sehr fern liegender Schanzen . . . 190
171. Berechnung der Trefferprozente gegen eine 6 Fuß hohe Scheibe. Beispiele auf 1000 und 2000 Schritt . . . 191

c. Verwendung der Trefffähigkeitstabellen beim indirekten Schuß.

172. Vom mittelsten Treffpunkte 194
173. Beschießen eines Blockhauses auf 1200 Schritt. Es müssen mehr als die Hälfte der Schüsse über die Brustwehr hinweggehen 194
174. Fällt der erste Schuß in die äußere Krete, so wird (1200 Schritt) mit $2/16$ Zoll korrigirt; fällt die Hälfte

Seite.

einer Anzahl Schüsse auf die Krone, so wird mit 1/16 Zoll korrigirt. Man hält die Elevation für richtig, wenn ungefähr 1/4 aller Schüsse auf die Brustwehrkrone fällt 196

175. Von der Veränderung der Ladung 199

176. Korrekturregel, wenn man die Granate mit dem Auge verfolgen kann: Man korrigirt abwärts, wenn von vier Schüssen 2 höher über die Krete hinweggehen, als das Dreifache der für 50 Prozent Treffer in den Trefffähigkeitstabellen enthaltenen Zahl beträgt 201

177. Beim künstlichen Zielpunkt sind die Höhenkorrekturen von seiner Entfernung nicht abhängig 201

178. Anmerkung: Der schiefe Stand der Räder kann in der Praxis meist übersehen werden 202

Anhang: Weitere Bemerkung über den Vergleich der Wirkung der verschiedenen Kaliber 204

C. Die praktische Verwerthung der Flugzeitbeobachtungen.

a. Das Beschießen von Zielen, welche in Bewegung sind.

179. Geschwindigkeiten der Ziele und der Geschosse. Durchschnittlich gebrauchen die Granaten bei den Gebrauchsladungen bis 3000 Schritt $2\frac{1}{2}$ mal so viel Sekunden als die Entfernung tausend Schritt beträgt, über 3000 Schritt 3 mal so viel 205

180. Gegen anrückende Feinde schießt man absichtlich zu kurz. Fällt gegen den weichenden Feind ein Schuß 50 Schritt zu kurz, so wird um 100 Schritt vorwärts korrigirt . 207

181. Vorüberziehende Kavallerie wird beschossen, wenn die Tete in unsere Richtung tritt 208

182. Gegen Eisenbahnen richtet man mindestens 200 Schritt vor und feuert je nach der Entfernung, ehe der Zug in unsere Richtung tritt, wo möglich in einer Batterielage mit besonderem Aufsatze für jedes Geschütz . . 209

183. Das Beschießen von Schiffen 210

184. Das Richten in Küstenbatterien 211

Anhang: Der Kampf von Charleston 212

b. Das Schießen von Shrapnels mit Richter'schen Zeitzündern.

185. Allgemeines 214

186. Vorstellung von der Streuung 215

187. Ist die Entfernung des Zieles bekannt, so darf der für dieselbe vorgeschriebene Aufsatz niemals verkleinert werden (bei richtigem Intervall) 217

188. Ermittelung von Schußtafeln für Shrapnels . . . 217

189. Ist die Zielentfernung bekannt, so korrigirt man im Allgemeinen gar nicht oder, wenn nöthig, nicht anders als durch Vergrößerung des Aufsatzes und Verringerung der Tempirung 218

190. Kennt man die Entfernung ungefähr, so ändert man den Aufsatz höchstens nach aufwärts, die Tempirung aber darf verkürzt oder verlängert werden, wenn im

Seite.

letzteren Falle nicht ein Aufschlag vor dem Krepiren oder ein Ueberschießen des Feindes zu besorgen ist . . 219
191. Bei Aenderung der Entfernung (100 Schritt) gehören Aufsatz und Tempirung der Schußtafel stets nothwendig zusammen 220
192. Der indirekte Shrapnelschuß — wie Schießen auf bekannter Entfernung 221
193. Der Kartätsch — Shrapnelschuß 222
194. Die seitliche Ausbreitung der Geschoßtheile 223
195. Die Kartätschen (Verstärkung der Ladungen) 224
Anhang: I. Ueber die Unterschiede in den Geschoßgeschwindigkeiten. II. Brandgranaten 224

c. Einiges über das Messen und Schätzen von Entfernungen.

196. Allgemeines 225
197. Während eines Massenfeuers muß ein Geschütz Beobachtungsschüsse thun 226
198. Vorschlag, durch den hohen Bogenschuß die Entfernungen zu messen 227
199. Wiederholung der Korrekturregeln für den Feldgebrauch 229
200. Entfernungsschätzung durch Zeitmessungen 229

Erstes Kapitel.

Von den Flugbahnen im Allgemeinen.

1. Die strengste Gesetzmäßigkeit zwingt unsere Geschosse, einer vorgeschriebenen Bahn zu folgen, um ein bestimmtes Ziel zu treffen. Versucht man nur, die kleine Entfernung von 500 Schritt wiederholt so abzuschreiten oder mit der Kette zu messen, daß selbst bei der größten Aufmerksamkeit wieder genau 500 Schritte herauskommen, dann wird es klar, welche wunderbare Strenge dazu gehört, daß verschiedene Geschosse aus verschiedenen Geschützen hinter einander fast dasselbe Loch treffen, daß also die Naturkräfte so gleichmäßig wirken, und uns auffordern, ihnen bei der Bildung einer Flugbahn nachzuforschen.

Eine Flugbahn wird bestimmt durch die sogenannte Anfangsgeschwindigkeit oder die Schnelligkeit, mit welcher das Geschoß aus dem Rohre geschleudert wird, durch die Wirkung der Schwerkraft, den Widerstand der Luft und die Rotation des Geschosses. Die Anfangsgeschwindigkeit ist eine Wirkung der Pulverkraft; wir beginnen deshalb mit der Betrachtung derselben.

A. Vom Pulver. (Allgemeines.)

2. Das Pulver besteht aus 74 Theilen Salpeter, 10 Theilen Schwefel und 16 Theilen Kohle. Diese Zusammensetzung ist bei uns als zweckentsprechend erkannt, weil sie hinreichende Kraft giebt und die Geschützröhre nicht zu sehr angreift. Die Verschiedenheit der Wirkung mehrerer Pulversorten liegt nämlich in der verschieden schnellen Verbrennung, wie z. B. bei Schießpulver und Schießwolle. Es giebt ein stärkeres, d. h. schneller brennendes Pulver, wenn z. B. die verwendete Kohle nur braunroth gebrannt wird, und andererseits erhält man durch Zusätze, wie z. B. Baryt oder durch Zusammenpressen unseres Pulvers, wie z. B. bei den Zündern, ein langsamer brennendes Pulver. Stöchiometrisch ist unser Pulver 1 Atom Salpeter, 1 Atom Schwefel und 3 Atome Kohle.

Der Salpeter ist salpetersaures Kali und besteht aus 1 Theil Kalium mit 1 Theil Sauerstoff und aus Salpetersäure, welche auf 1 Doppeltheil Stickstoff 5 Theile Sauerstoff enthält; Schwefel und Kohle sind einfache Stoffe. Durch das Feuer der Zündung zersetzt sich der Salpeter in 1 Theil Kalium, 2 Theile Stickstoff und 6 Theile Sauerstoff, welche letztere sich mit der Kohle zu Kohlensäure verbinden, während sich der Schwefel mit dem Kalium einigt. Stickstoff und Kohlensäure sind luftförmige Körper und bilden das treibende Gas. Das Schwefelkalium ist der Rückstand, welcher sich am schönsten am Verschlusse in der Vertiefung für die Kupferliderung zeigt als leberbrauner Ueberzug. Die schwarze Farbe des Pulverrückstandes, welcher sich namentlich an der Mündung zeigt, rührt von zurückgebliebener Kohle her, und das Schleimige ist die Folge von aus der Luft aufgesogenem Wasser, wobei das Wasser sich theilweise zersetzt in Wasserstoff und Sauerstoff, welcher letzterer sich mit Kalium zu Kali verbindet, während der erstere mit Schwefel den Schwefelwasserstoff bildet, woher der angenehme Pulvergeruch kommt.

Die Hitze, welche erzeugt wird, soll nach Professor Bunsen im Freien 2993 Grad, im geschlossenen Raume 3340 Grad betragen, während das Gas einen etwas über tausendmal größeren Raum einnehmen möchte als die Pulverladung.

3. Dies ist in Kurzem die bisher nach Gay-Lüssac angenommene chemische Theorie des Pulvers. Die Herren Professor Bunsen und Schischkoff haben aber im Jahre 1857 nach einer vervollkommneten Methode den Pulverrückstand und die Pulvergase untersucht, die Unrichtigkeit jener Theorie dargethan und Folgendes nachgewiesen:

1) Der Pulverrückstand enthält sehr wenig Schwefelkalium, sondern besteht in abgerundeten Zahlen aus folgenden Produkten in Gewichtstheilen:

Schwefelsaures Kali . . .	62
Kohlensaures Kali	19
Unterschweflichsaures Kali . . .	4,8
Schwefelkalium	3
Rhodankalium	0,5
Salpetersaures Kali	5,5
Kohle	1
Schwefel	0,2
$^2/_3$ kohlensaures Ammoniak . .	4
Summa	100

Das untersuchte Pulver hatte eine etwas andere Zusammensetzung als das unsrige: 79 Gewichtstheile Salpeter, 10 Schwefel, 11 Kohle, wodurch das Zahlenverhältniß der Verbrennungsprodukte etwas geändert wird; während wir im Ganzen sagen müssen, der Pulverrückstand bestehe vorzugsweise aus schwefelsaurem und kohlensaurem Kali.

2) Das Pulvergas enthält in Volumtheilen:

Kohlensäure . . .	53
Stickstoff	41
Kohlenoxyd . . .	4
Wasserstoff . . .	1
Schwefelwasserstoff .	0,5
Sauerstoff . . .	0,5
Summa	100

Die Bestandtheile des Gases sind also, wie nach der alten Theorie, wesentlich Kohlensäure und Stickstoff, wobei aber noch zu beachten ist, daß der uns sichtbare Pulverrauch noch Theile des mechanisch mit fortgerissenen Rückstandes enthält. Diese Rückstandstheile geben dem Rauche seine Farbe, dieselbe, welche der feine Niederschlag an der Mündung hat. Berechnet man den kubischen Inhalt der Gasmenge unter Voraussetzung, daß keine Temperaturerhöhung stattfände, so giebt 1 ℔ Pulver $3\frac{1}{8}$ Kubikfuß. Durch die hohe Hitze hat aber das Gas das Streben, einen Raum einzunehmen, welcher etwa 1150 Mal so groß ist, als der des Pulvers.

Es ist auch nachgewiesen worden, daß, obgleich von dem Rückstande ganz wenig verflüchtigt wird, der Gasdruck durch den Rückstand sehr unwesentlich erhöht wird, während man früher dem Schwefelkalium hierbei einen bedeutenden Einfluß zuschrieb.

4. Diese große Gasmasse entsteht nicht auf einen Schlag, sondern so, daß eine kleinere Ladung schneller verbrennt als eine große. Eine kleine Ladung, z. B. 0,4 ℔ beim 24℔er, treibt die Granate schon vorwärts, also muß diese sich schon bewegen, bevor eine größere Ladung, z. B. von 4 ℔, ganz verbrannt ist, aber da die Verbrennung eine sehr kurze Zeit dauert, vielleicht den dreihundertsten Theil einer Sekunde, so ist das Geschoß noch sehr wenig vorgerückt und hat also den Verbrennungsraum noch sehr wenig vergrößert. Das Gas befindet sich jetzt in einem kleinen Raume, will sich aber ausdehnen, und die Kraft, welche es dabei äußert, wird seine Spannung genannt. Diese Spannung wird zunächst bestimmt durch die Schnelligkeit der Verbrennung und die dabei

entwickelte Hitze,*) durch die Größe des Verbrennungsraumes und durch die Zeit, welche das Geschoß verlangt für seine erste Bewegung, oder durch den Weg, welchen das Geschoß bis zur vollständigen Verbrennung des Pulvers zurückgelegt hat.

In dieser Zeit liegt der Unterschied in der Wirkung des Pulvergases in glatten oder überhaupt von vorn zu ladenden Röhren und unseren gezogenen Hinterladungsröhren. Während erfahrungsmäßig bei den glatten Röhren oft ein Theil der Pulverladung unverbrannt aus dem Rohre geschleudert wurde und dadurch zeigte, daß die Verbrennung nach und nach geschehe, so ist dies bei unseren jetzigen Röhren ganz anders. Die bedeutende Schwere der Langgeschosse und der sehr große Widerstand, welchen das Geschoß im Uebergangskonus findet,**) bedingen, daß die erste Bewegung eine sehr langsame ist, daß also das Pulver Zeit genug erhält, noch während der Bewegung durch den Konus vollständig verbrannt zu sein.***) Die Kugeln eines glatten Geschützes ließen durch den Spielraum viel Gas entweichen, unsere jetzigen Geschosse aber bewegen sich durch die Seele auch ohne Spielraum, und so geht ihnen nur ein geringer Theil des Gases durch das Zündloch verloren, die Wirkung muß also gleichmäßiger sein als bei glatten Röhren.

5. Die ganze Gasmasse drängt nun gleichzeitig und mit gleicher Kraft nach rückwärts, vorwärts, rechts, links, oben und unten, d. h. also *der Verschluß hat genau so viel Druck zu ertragen, wie das Geschoß*. Dieses bewegt sich vorwärts, der Raum hinter dem Geschosse wird größer, die Temperatur des Gases wird durch die Berührung mit immer neuen kalten Wandtheilen niedriger und das Gas muß dadurch nach und nach an Kraft verlieren. Immer aber ist die Kraft noch groß genug, das Geschoß immer schneller und schneller zu treiben und es schließlich mit einer solchen Ge-

---

*) Als entsprechendes Beispiel denke man sich eine gewisse Menge Wasserdampf in einem Cylinder. Der Dampf hat um so größere Kraft, je höher seine Temperatur ist.

**) Im 4Zer beträgt dieser Widerstand bei einer so langsamen Bewegung, wie sie durch ein Hebezeug hervorgebracht wird, etwa 2000 Z und wird bei dem Wachsen der Geschwindigkeit außerordentlich gesteigert; ebenso wächst er bei den größeren Kalibern, während bei Vorderladern nur die einfache Reibung, also ein Bruchtheil des Geschoßgewichts, zu überwinden ist.

***) Ein Vorderladungsgeschütz würde mit einem Dampfcylinder zu vergleichen sein, in welchen während der Bewegung des Kolbens fortwährend neuer Dampf hinzuströmt; ein Hinterlader aber mit einem solchen, welcher eine bestimmte unveränderliche Dampfmenge von vornherein erhalten hat.

schwindigkeit aus dem Rohre zu schleudern, daß es in einer Sekunde z. B. 400 Schritt zurückzulegen vermöchte. Das wollen wir nachher betrachten. Was bewirkt aber das Gas durch sein Drängen nach den anderen Richtungen als auf das Geschoß? In der Rückwärtsrichtung drückt es den Verschluß gegen die hintere Wand des Querlochs und zieht an dem Metalle, welches über und unter dem Loche ist. Wäre dieses nicht stark genug, so müßte es zerreißen und der Verschluß davon fliegen. Aber es hält, und deshalb muß das ganze Rohr folgen, so daß es mit seinen Schildzapfen sich hart gegen die Schildzapfenpfannen legt und auf diese Weise die ganze Laffete nach rückwärts zieht. Das ist der Rücklauf. Das Gas, welches aus dem Zündloche entweicht, kann dem Rohre keine Bewegung geben, sondern nur durch seine Geschwindigkeit die Kanten des Zündlochs abbrechen, was man namentlich bei eisernen Röhren sieht. Aber die Kraft, welche nach unten nun stärker drückt, weil nach oben nicht eine eben so große Gegenkraft wirkt, schlägt das Bodenstück so gewaltig auf die Richtsohle, daß diese es federnd zurückwirft. Das ist das Bucken.*) Der erste Druck kann so stark sein, daß die Richtsohle und selbst die Laffete zertrümmert werden; das Wiederherunterfallen des Bodenstücks kann natürlich diese Wirkung vergrößern, aber der am meisten zerstörende Angriff auf die Laffete geschieht vor dem sichtbaren Bucken und nicht durch das Herunterfallen.

Zu geringes Hintergewicht ist gerade dadurch schädlich, daß das Bodenstück zu wenig Widerstand leistet, z. B. vor Düppel haben aptirte 12℔er, welche so wenig Hintergewicht hatten, daß sie theilweise nach dem Bucken nicht von selbst herunter fielen, sondern mit gehobenem Bodenstück stehen blieben, die Laffete zerschlagen.

Das sind die beiden Gründe (Rückstoß und Bucken), warum man das Geschützrohr gern recht schwer und das Hintergewicht gern recht groß macht, weil ein großes Gewicht durch die Pulverkraft schwerer bewegt wird; dagegen sucht man die Laffete, soweit es ihre Haltbarkeit gestattet, zu erleichtern und sie so einzurichten, daß sie möglichst leicht über den Erdboden hingleitet, weil sie durch den Rückstoß um so mehr leiden würde, je schwerfälliger sie ihm ausweichen könnte.

6. Wenn das Pulver ganz verbrannt ist, so hängt die Kraft der Gasspannung nur von der Größe des freien Raumes hinter

*) Bei Röhren mit versenkten Schildzapfen ist das Bucken auch Folge des Rückstoßes, welcher an dem durch die Größe der Versenkung dargestellten Hebelsarm das Rohr zu drehen sucht, ähnlich wie eine Treibröhre das Drehen des Feuerrades hervorbringt.

dem Geſchoſſe und von der Temperatur des Gaſes ab. Ein ſchwereres Geſchoß geht nun nicht ſo ſchnell vorwärts, bleibt alſo längere Zeit in jedem Theile der Seele und ſomit im ganzen Rohre, läßt das Gas länger auf den Verſchluß und die Seelenwand wirken und läßt auch die Temperatur nicht ſo ſchnell ſinken. Aus dieſem Grunde müßte ein Rohr bei der Anwendung von Vollgeſchoſſen mehr angegriffen werden als bei Granaten. Dies iſt bei Vorderladern auch wirklich der Fall, aber die Gründe ſind noch etwas verwickelter; weil das Gas hier nicht bei der allererſten Bewegung vollſtändig entwickelt iſt, ſo muß es hinter einem Vollgeſchoſſe in derſelben Zeit einen kleineren Raum ausfüllen, als hinter einer Granate. Bei Hinterladern hat die langſamere Bewegung des Vollgeſchoſſes nur Einfluß auf die Temperatur und die Unterſchiede derſelben ſind bei dieſen kleinen Zeitdifferenzen ſo verſchwindend klein, daß ſie keinen Einfluß üben, deshalb iſt es für die Spannung in Hinterladern gleichgültig, ob man Vollgeſchoſſe oder Granaten ſchießt. Daß in demſelben Verbrennungsraum eine größere Pulverladung das Rohr mehr angreift, verſteht ſich von ſelbſt. In dem Augenblicke, wo das Geſchoß aus der Mündung geht, ſtrebt das Gas noch mit großer Gewalt, ſich auszudehnen; es ſtürzt in die Luft und erſchüttert dieſelbe in dem Maße, daß der ſtarke donnerähnliche Knall entſteht. Bei der Windbüchſe iſt nur ein kleiner Theil Luft zuſammengedrängt, deshalb knallt dieſe nicht ſo laut.*) Findet das entwickelte Gas von vornherein einen größeren oder kleineren Raum, ſo wird ſeine Kraft kleiner oder größer. Deshalb muß das Anſetzen des Geſchoſſes von Schuß zu Schuß ganz gleichmäßig geſchehen. Das Geſchoß darf nicht mit Gewalt in den Ladungsraum geſtoßen werden, ſondern wird ruhig bis zum richtigen Punkte geſchoben. Dieſe Verhältniſſe wollen wir bei der Beſprechung der verſchiedenen Kaliber noch näher betrachten; nur iſt ſchon jetzt zu bemerken:

Ein zu tief eingetriebenes Geſchoß erhält zu wenig Kraft, dasſelbe geſchieht, wenn der Ladungsraum zu lang gebohrt iſt.

Wie lange hat das nun im Rohre gedauert, was wir beſprochen haben? Die Rechnung ſagt, ungefähr den 60ſten Theil einer Sekunde.

---

*) Bei der Schießwolle ſinken die Spannungen der Gaſe im Geſchützrohre ſo ſchnell, daß ſie auf die Luft nicht mehr mit der Gewalt wirken, wie Pulvergaſe; dagegen iſt die Wirkung der Schießwolle am Boden der Seele größer als die des Pulvers, letzteres, weil ſie ſchneller verbrennt, erſteres, weil ihre Gaſe ſich ſchneller abkühlen.

B. Von der Anfangsgeschwindigkeit. (Allgemeines.)

7. Die Geschwindigkeit, mit welcher das Geschoß die Mündung verläßt, heißt Anfangsgeschwindigkeit. Sie ist aber auch nur die erste Geschwindigkeit; sie wird sofort kleiner. Wir müssen also genau erklären, was es heißt: ein Geschoß, z. B. die 24 ℔er Granate habe bei $4^1/_2$ ℔ Ladung eine Anfangsgeschwindigkeit von 1000 Fuß. Die Anfangsgeschwindigkeit ist der Weg, welchen das Geschoß im luftleeren Raume in einer Sekunde zurücklegen würde und zwar in irgend einer Richtung.

Es giebt aber weder einen luftleeren Raum von 1000 Fuß Länge, noch bewegt sich ein Geschoß 1000 Fuß oder 420 Schritt weit in einer geraden Linie, sondern dies geschieht immer in einem Bogen. Denken wir, daß es eine solche Geschwindigkeit wirklich gäbe, so würde das Geschoß zu einem Wege von 1 Fuß doch nur den 1000sten Theil einer Sekunde gebrauchen. Aber $^1/_{1000}$ Sekunde ist eine so kleine Zeit, daß es davon keine Vorstellung giebt, und aus diesem Grunde sagen wir lieber 1000 Fuß in einer Sekunde. Dann bleibt es Jedem überlassen, je nach seinem Pulsschlage oder nach seiner Sekundenuhr oder nach dem Takte, den er mit der Fußspitze schlägt, sich eine andere Vorstellung zu machen, z. B. in $^1/_2$ Sekunde 500 Fuß, oder $^1/_4$ Sekunde 250 Fuß. Denken wir uns z. B. vor der Mündung zwei Papierwände hintereinander mit etwa 10 Fuß Entfernung aufgestellt, und gegen dieselben mit $4{,}5$ ℔ aus dem 24 ℔er geschossen, so gebraucht die Granate doch gewiß eine Zeit, um von der ersten zur zweiten Wand zu kommen, und da 10 Fuß der 100. Theil von 1000 ist, so können wir diese Zeit ausdrücken durch $^1/_{100}$ Sekunde. Was wir Anfangsgeschwindigkeit nennen, ist also eine Zahl, die nur für die Bequemlichkeit des menschlichen Verstandes auf 1 Sekunde gerechnet wird, ebensogut aber auf jede andere Zeit oder jede andere Länge übertragen werden kann. Allerdings ist eine solche Geschwindigkeit sehr groß, aber man kann sie sehr leicht erkennen, wenn man z. B. auf 5000 Schritt Entfernung die Sekunden vom Erscheinen des Blitzes bis zur Ankunft des Geschosses zählt. Man erhält ungefähr 15 Sekunden; 5000 Schritt sind aber 12,000 Fuß, und denkt man dazu, daß das Geschoß einen ungefähr 950 Fuß hohen Bogen gemacht hat, so ist klar, daß die Geschwindigkeit eine sehr große war.

8. Es giebt verschiedene Mittel, die Anfangsgeschwindigkeiten der Geschosse zu erkennen; wir wollen von ihnen eine ungefähre

Vorstellung geben. Das billigste Mittel ist die Berechnung aus gegebenen Schießergebnissen, sie ist aber noch nicht für alle möglichen Fälle ausführbar, weil die Bahnen der Rundgeschosse aus glatten Geschützen durch mehr oder weniger bedeutende Unregelmäßigkeiten sich nicht genau genug berechnen lassen. Man kann die Geschwindigkeiten indessen direkt messen und zwar:

1) Durch Beobachtung der Flugzeit mittelst einer Uhr, die man beim Aufblitzen an der Mündung laufen läßt und beim Anschlage auf einer bestimmten Entfernung arretirt;

2) durch Beobachtung der Flugzeit mittelst einer Uhr, welche durch Electromagnetismus in Gang gesetzt und arretirt wird;

3) durch die Beobachtung der Gewalt, mit welcher ein Geschoß auf kleiner Entfernung gegen ein mächtiges Pendel schlägt (dieses Pendel heißt ballistisches Geschütz- oder Gewehrpendel);

4) durch die Beobachtung der Flugzeit, welche ein Geschoß zum Durchfliegen des Raumes zwischen zwei Papierwänden gebraucht, die sich um eine gemeinschaftliche Achse drehen.

9. Eine kurze Erklärung sei hinzugefügt:

Ad 1. Die Artillerie-Prüfungs-Kommission besitzt eine Uhr, welche durch einen Druck mit dem Finger auf einen kleinen Hebel in Bewegung gesetzt wird.

Der Beobachter hält den Finger über dem Hebel und drückt, sowie er den Blitz sieht; die Uhr läuft dann bis zu dem Momente, wo der Finger sich hebt, und das geschieht in dem Augenblicke des Anschlages.

Die Zeit wird auf $^1/_{100}$ Sekunden gemessen. Es kommen hierbei allerdings Fehler vor, sie gleichen sich aber bei mehreren Beobachtungen aus, und die Uhr giebt immerhin Resultate, welche für manchen Zweck ausreichend sind. Es ist selbstverständlich, daß man immer schon so große Entfernungen wählen muß, bei denen die Flugzeit einige Sekunden dauert, also von einem Messen der wirklichen Anfangsgeschwindigkeit keine Rede mehr sein kann, sondern man erhält eine mittlere Geschwindigkeit, indem man die Entfernung durch die Anzahl der Sekunden dividirt.

10. ad 2. Die Vermittlung des Elektromagnetismus gestattet, Entfernungen zu wählen, für welche die Flugzeiten sehr klein sind. Auch hier wird in dem Momente, wo das Geschoß die Mündung verläßt, eine Uhr in Bewegung gesetzt und beim Anschlage arretirt. Die Uhr muß aber viel kleinere Theile als $^1/_{100}$ Sekunden zeigen — sie besteht deshalb nur aus einem Pendel, welches vom Anfange bis zum Ende der Bewegung nur einen Theil eines Ausschlages macht, aus dessen Größe man die verbrauchte Zeit berechnen kann.

Läßt man z. B. ein Pendel mehrere hundertmal ſchwingen und beobachtet an einer guten Uhr die Zeitdauer ſämmtlicher Schwingungen, ſo iſt durch Diviſion leicht die Dauer einer Schwingung und daraus durch andere Rechnungen die Dauer von beliebigen Theilen einer Schwingung zu finden.

Man denke ſich nun ein Pendel wird in ſeiner höchſten Stellung nur durch den Strom eines Elektromagneten feſtgehalten. Dieſer Strom geht durch einen Draht, welcher auf einen Rahmen gezogen iſt, der unmittelbar vor der Mündung des Geſchützes ſteht. Das Geſchütz wird abgefeuert, das Geſchoß zerreißt den Draht und der Strom hört auf — in demſelben Moment läßt der Elektromagnet das Pendel fallen. Das Geſchoß trifft jetzt einen in gewiſſer Entfernung z, B. 30 Schritt aufgeſtellten zweiten Rahmen, in deſſen Draht ein zweiter Strom geht, durch welchen der zugehörige Elektromagnet ein kleines Gewicht hält. Dieſer Draht wird durch das Geſchoß zerriſſen, der Magnet läßt das kleine Gewicht fallen. Der Magnet des Pendels iſt mit einem dritten Drahte in Verbindung, deſſen Kette bisher nicht geſchloſſen war. Das eben gefallene Gewicht ſchließt aber dieſe Kette, indem es gerade auf ein Ende des dritten Drahtes trifft und dieſes in das Queckſilbernäpfchen drückt. Der erſte Elektromagnet wird alſo wieder erregt und hält nun das Pendel an der Stelle feſt, bis wohin es gefallen iſt.

Dieſer Apparat, welcher in der neueſten Zeit vervollkommnet wurde, iſt von dem belgiſchen Artillerie-Major Navez erfunden. Der belgiſche Lieutenant Leboulangé läßt ſtatt des Pendels ein kleines Gewicht fallen und berechnet aus der gemeſſenen Fallhöhe die zugehörige Zeit.

11. ad 3. Das balliſtiſche Pendel von dem Engländer Robins iſt ſchon über 100 Jahre alt und wird noch jetzt benutzt, in den fünfziger Jahren zuletzt in Preußen und neuerdings in Amerika. Ein Geſchützrohr iſt als Pendel aufgehängt, durch ein Bretterhaus gegen Witterung geſchützt, ihm gegenüber auf etwa 20 Schritt Entfernung hängt ein anderes mächtiges Pendel von mehreren Tauſend Pfunden. Das erſtere Pendel heißt Geſchützpendel, das letztere Recepteurpendel. Aus dem Geſchütze wird gegen den Recepteur geſchoſſen, welcher in einem mit Sand gefüllten Kaſten das Geſchoß feſthält.

Der Recepteur macht nun einen Ausſchag aufwärts, deſſen Größe man mißt, indem ein ſeitlich angebrachter Stift in einer mit Talg gefüllten Rinne einen Strich zieht. Die Kraft, mit welcher das Geſchoß auf das Pendel wirkt, iſt das Produkt aus ſeiner Geſchwindigkeit und ſeiner Schwere. Durch Experimente und Rech-

nungen weiß man, welche Kraft für jeden beliebigen Ausschlag gebraucht wird. Aus dieser Kraft findet man also durch Division mit dem Gewichte des Geschosses seine Geschwindigkeit. Auch das Geschützpendel macht nach rückwärts einen Ausschlag, und aus ihm erkennt man die Gewalt des Rückstoßes.

12. ad 4. Durch sogenannte rotirende Scheiben wurden im Jahre 1803 in Hannover Geschwindigkeiten gemessen. Der Apparat kostete 80,000 Franken. Wir haben schon gesehen, daß die Kugel eine meßbare Zeit gebraucht, um den etwa 10 Fuß weiten Raum zwischen zwei Papierscheiben zu durchfliegen. Es kommt nur darauf an, die Zeit zu messen. Beide Scheiben sind an einer gemeinschaftlichen Axe fest, welche sehr schnell rotirt. Schießt man parallel der Axe, so läßt sich in der zweiten Scheibe die Stelle leicht bestimmen, wo die Kugel hätte treffen müssen, wenn der Apparat stille stand. Die Entfernung des wirklichen Treffpunkts von hier und die Geschwindigkeit der Rotation lassen die Flugzeit berechnen. Solche Versuche sind zuletzt in Wien gemacht worden, allerdings mit einem weniger theuren Apparate, indem man das Schwungrad einer Dampfmaschine zur Rotation benutzte.

Uebrigens wenn man die Wirkung einiger bekannter Anfangsgeschwindigkeiten gegen ein Pendel oder dergl. kennt, so ist es leicht, aus zwischen liegenden Wirkungen die Anfangsgeschwindigkeit zu erkennen, wie es der K. K. österreichische Oberstlieutenant v. Uchatius gemacht hat, indem er für die Wirkung einer Gewehrkugel auf einen Hebel eine Skala fertigte. Die feinsten Beobachtungen sind natürlich die durch Elektromagnetismus, weil für so kleine Entfernungen so zu sagen die Elektricität gar keine Zeit gebraucht.

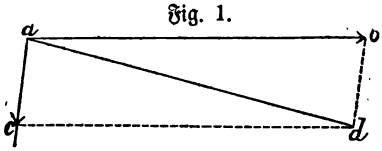
13. Bei der speziellen Besprechung unserer gezogenen Geschütze werden wir den Anfangsgeschwindigkeiten noch einen besonderen Abschnitt widmen. Wir wollen hier nur anführen, daß man diese Untersuchungen meist machte, um möglicherweise Gesetze für den Zusammenhang der Anfangsgeschwindigkeiten mit dem Verhältnisse des Ladungsgewichts zum Geschoßgewicht, mit der Länge des Rohres u. s. w. aufzufinden. So gab unser glatter 6ßer seiner Kugel mit 1 ℔ 1170 Fuß, mit 2 ℔ 1588 Fuß, mit $2\frac{1}{4}$ ℔ 1667 Fuß, der 12ßer mit $3\frac{1}{2}$ ℔ 1530 Fuß, die 7ßge Haubitze mit $1\frac{1}{2}$ ℔ 481 Fuß; in England hat man bis 1800 Fuß erhalten. Durch die Benutzung der Elektricität und unterstützt durch die große Treffähigkeit der gezogenen Geschütze ist man auch in den Stand gesetzt, selbst in einzelnen Theilen der Flugbahnen die Geschwindigkeiten zu messen.

C. Von der Flugbahn im luftleeren Raum.

a. Das Zusammenwirken zweier Kräfte.

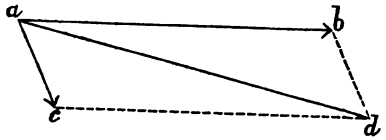
14. Um die Entstehung einer gekrümmten Flugbahn uns zu erklären, müssen wir zunächst von dem Widerstande der Luft absehen, und bedenken, daß nach dem Verlassen der Mündung das Geschoß seine Richtung und seine Geschwindigkeit hat, welche unveränderlich sein würden, wenn nicht die Schwerkraft das Streben hätte, das Geschoß zur Erde herabzuziehen und dadurch Richtung und Geschwindigkeit zugleich zu ändern. Wir müssen uns also zunächst erinnern, welchen Weg ein Körper macht, wenn er nach zwei Richtungen gleichzeitig getrieben oder gezogen wird. Gesetzt er sollte ursprünglich in der Richtung a b (Fig. 1.)

Fig. 1.



vorwärts gehen, gleichzeitig erhielte er aber einen Zug in der Richtung a c, welche beispielsweise $^1/_4$ so groß sein möge als die, welche in a b wirkte, so folgt er weder der einen Richtung noch der anderen, sondern er geht einen Mittelweg a d, welchen man zeichnen kann, als die Diagonale des sogenannten Parallelogramms der Kräfte. Nämlich man kann die Richtungen a b und a c zeichnen, und da in unserem Beispiele die Kraft in a b 4 mal so groß sein soll als in a c, so kann man auch dieses Verhältniß darstellen, durch die Länge der Linien a b und a c. Nun ist natürlich, daß der Körper der stärkern Kraft mehr folgen muß als der kleineren, und daraus ergiebt die Natur den Weg a d nach Richtung und Größe. Es ist auch selbstverständlich, daß die wirkliche Geschwindigkeit des so bewegten Körpers keiner der Geschwindigkeiten gleich sein braucht, welche ihm jede Kraft allein geben würde. Bildet die Richtung der Kräfte einen stumpfen Winkel und ist die eine bedeutend größer als die andere wie in Fig. 1., so sieht man, daß die wirkliche Geschwindigkeit a d kleiner ist als a b; ist aber der Winkel spitz, wie in Fig. 2., so ist a d größer als a b. Dies

Fig. 2.



betrachten.) Wenn wir nun bedenken, daß beim Anfange des Falles der Körper gar keine Geschwindigkeit hat, und daß diese erst nach und nach bis $31\frac{1}{4}$ Fuß wächst, so kann der zurückgelegte Weg nicht $31\frac{1}{4}$ Fuß betragen. In solchen Fällen, wo man zu Anfang und Ende einer Bewegung verschiedene Geschwindigkeiten hat, darf man eine mittlere Geschwindigkeit als für die ganze Zeit gleichmäßig annehmen. Da die Mitte zwischen 0 und $31\frac{1}{4}$ nun $\frac{0 + 31\frac{1}{4}}{2} = 15\frac{5}{8}$ ist, so folgt, daß der Körper in der 1. Sekunde $15\frac{5}{8}$ Fuß fällt. Am Ende der 1. Sekunde hat er indessen $31\frac{1}{4}$ Geschwindigkeit und die Beschleunigung der Schwere vergrößert diese in wieder einer Sekunde um $31\frac{1}{4}$ Fuß, also auf $62\frac{1}{2}$, so daß für die 2. Sekunde die mittlere Geschwindigkeit $31\frac{1}{4} + 62\frac{1}{2} = \frac{93\frac{3}{4}}{2} = 46\frac{7}{8}$ Fuß ist, d. h. in der 2. Sekunde fällt der Körper $46\frac{7}{8}$ oder $3 . 15\frac{5}{8}$ Fuß. In der 3. Sekunde finden wir $\frac{62\frac{1}{2} + 93\frac{3}{4}}{2} = \frac{156\frac{1}{4}}{2} = 78\frac{1}{8}$ oder $5 . 15\frac{5}{8}$ Fuß. So ergiebt sich für jede folgende Sekunde eine immer um $31\frac{1}{4}$ Fuß größere Geschwindigkeit, und die zugehörigen Fallräume werden immer um ebensoviel größer. Wir bekommen dann diese kleine

Tabelle über die Fallgesetze:

Zeit des Falles. Sekunden.	Geschwindigkeit am Ende dieser Zeit. Fuß.	Fallraum in dieser Sekunde. Fuß.	Fallraum während der ganzen Zeit. Fuß.
0	0	0	0
1	$1 . 31\frac{1}{4}$	$1 . 15\frac{5}{8}$	$1 . 15\frac{5}{8}$
2	$2 . 31\frac{1}{4}$	$3 . 15\frac{5}{8}$	$4 . 15\frac{5}{8}$
3	$3 . 31\frac{1}{4}$	$5 . 15\frac{5}{8}$	$9 . 15\frac{5}{8}$
4	$4 . 31\frac{1}{4}$	$7 . 15\frac{5}{8}$	$16 . 15\frac{5}{8}$
5	$5 . 31\frac{1}{4}$	$9 . 15\frac{5}{8}$	$25 . 15\frac{5}{8}$
6	$6 . 31\frac{1}{4}$	$11 . 15\frac{5}{8}$	$36 . 15\frac{5}{8}$
7	$7 . 31\frac{1}{4}$	$13 . 15\frac{5}{8}$	$49 . 15\frac{5}{8}$
8	$8 . 31\frac{1}{4}$	$15 . 15\frac{5}{8}$	$64 . 15\frac{5}{8}$
9	$9 . 31\frac{1}{4}$	$17 . 15\frac{5}{8}$	$81 . 15\frac{5}{8}$
20	$20 . 31\frac{1}{4}$	$39 . 15\frac{5}{8}$	$400 . 15\frac{5}{8}$

§8. Die Geschwindigkeiten wachsen also in demselben Verhältnisse wie die Sekundenzahlen. Die Zahlen 1, 3, 5, 7 .... welche

das Verhältniß der Fallräume in den aufeinander folgenden Sekunden bezeichnen, haben nun zwei interessante Eigenthümlichkeiten*):

1) sind es die so vielten ungeraden Zahlen, als die Sekundenzahl anzeigt, und

2) giebt ihre Summe immer das Quadrat der Sekundenzahl, z. B. für 9 Sekunden haben wir $1 + 3 + 5 + 7 + 9 + 11 + 13 + 15 + 17 = 81 = 9 . 9$.

So ergeben sich die bekannten Fallgesetze:

1) Die Fallgeschwindigkeiten erhalten sich wie die Fallzeiten ($g\,t = v$).

2) Die Fallräume verhalten sich wie die Quadrate der Fallzeiten $\left(h = g\frac{t^2}{2}\right)$.

3) Die Fallräume oder Fallhöhen oder -Tiefen verhalten sich wie die Quadrate der Geschwindigkeiten $\left(h = \frac{v^2}{2g}\right)$ Die Höhe bezeichnet man gewöhnlich mit h, die Geschwindigkeit mit v, die Zahl $31\frac{1}{4}$, die sogenannte Beschleunigung der Schwere, mit g. Wollen wir also wissen,

1) wie groß ist die Endgeschwindigkeit eines 10 Sekunden fallenden Körpers? so finden wir $10 . 31\frac{1}{4} = 312\frac{1}{2}$ Fuß;

2) wie groß ist seine Fallhöhe? so ist die Antwort $10 : 10 . 15\frac{5}{8} = 100 . 15\frac{5}{8} = 1562\frac{1}{2}$ Fuß. Genau denselben Weg erhalten wir, wenn wir annehmen, der ganze Weg wäre mit gleicher Geschwindigkeit durchfallen. Diese Geschwindigkeit muß natürlich die mittlere zwischen 0 und $312\frac{1}{2}$ sein, nämlich $\frac{0 + 312\frac{1}{2}}{2} = 156\frac{1}{4}$; da die Geschwindigkeit sich auf 1 Sekunde bezieht, so haben wir für 10 Sekunden mit 10 zu multipliciren und finden auch $10 . 156\frac{1}{4} = 1562\frac{1}{2}$ Fuß.

Hierin liegt also wieder: es ist für die Berechnung einer Falltiefe ganz gleichgiltig, ob man die Schwerkraft von Sekunde zu Sekunde oder in noch kleineren Zeiten oder während der ganzen Fallzeit gleichmäßig wirkend denkt, wenn man nur für jeden Zeit-

---

*) Die Fallgesetze gelten in ihrer Reinheit bekanntlich nur für den luftleeren Raum. Ohne Berücksichtigung des Luftwiderstandes würde eine Infanteriekugel mit 900 Fuß Anfangsgeschwindigkeit 13,000 Fuß steigen und mit 900 Fuß Geschwindigkeit zurückfallen. In Wirklichkeit steigt sie nur etwa 1800 Fuß und kommt mit ungefähr 250 Fuß Geschwindigkeit zurück. Versuche in Spandau haben das bestätigt.

abschnitt immer eine neue mittlere Geschwindigkeit annimmt. Z. B. Für 5 Sekunden ist die mittlere Geschwindigkeit $\frac{0 + 5 . 31^1/_4}{2} = 78^1/_8$, also fällt der Körper $5 . 78^1/_8 = 390^5/_8$ Fuß; in den folgenden 5 Sekunden ist die mittlere Geschwindigkeit $\frac{156^1/_4 + 312^1/_2}{2} = 234^3/_8$ und der entsprechende Weg $= 5 . 234^3/_8 = 1171^7/_8$ Fuß und in den 10 Sekunden zusammen $390^5/_8 + 1171^7/_8 = 1562^1/_2$ wie vorhin. Es ist leicht zu folgern, daß man sich denken kann, ein in Bewegung befindlicher Körper habe seine Geschwindigkeit durch senkrechtes Fallen erlangt. Einer solchen Geschwindigkeit entspricht dann eine gewisse Fallhöhe und diese nennt man Geschwindigkeitshöhe, z. B. ist $312^1/_2$ die Geschwindigkeit, so ist $1562^1/_2$ die Geschwindigkeitshöhe $\frac{312,5 . 312,5}{2 . 31^1/_4}$, $\left(h = \frac{v^2}{2g}\right)$.

c. Zeichnung einer Flugbahn.

19. Der oft gebrauchte Ausdruck: das Geschoß steigt und fällt zugleich, ist nur uneigentlich zu verstehen.*) In Wirklichkeit ist es so: so lange das Geschoß steigt, wird es durch die Schwerkraft am Steigen behindert. Seine ihm innewohnende Kraft der Vorwärtsbewegung ist aber nicht verschwunden, wenn es bis zum höchsten Punkte gelangt ist, denn dann müßte es senkrecht herabfallen, sondern die Richtung seines Fluges und der Winkel derselben mit der Richtung der Schwerkraft, welche ja immer senkrecht ist, werden andere.

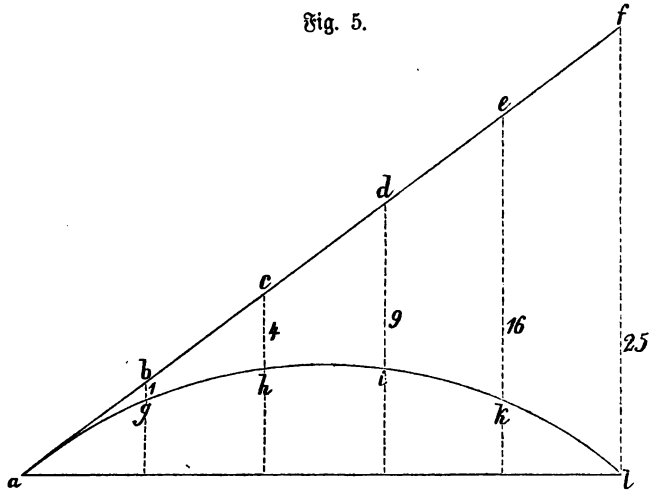
Wollen wir nun eine Flugbahn zeichnen, so müssen wir uns natürlich einzelne Punkte derselben verschaffen, und diese durch eine zusammenhängende Linie verbinden. Dabei ist es am bequemsten, uns dessen zu erinnern, daß wir einen Punkt der Bahn finden können, wenn wir annehmen, die ursprünglichen Kräfte wirkten in ihrer Richtung irgend eine bestimmte Zeit hindurch, also z. B. 1 Sekunde, 2 Sekunden u. s. w.

---

*) Namentlich das, was man gewöhnlich dadurch bezeichnet, nämlich die Erfahrung des Jägers wie des Infanteristen, daß der Horizontalschluß auf kleinen Entfernungen oberhalb der Visirlinie einschlägt, ist weiter nichts, als daß diese Visirlinie nicht der Seelenaxe parallel ist, sondern daß diese letztere eine Elevation von einigen Minuten hat — oder artilleristisch: die Gewehre sind nicht verglichen und zwar weil die Stärke des Bodenstücks ein sehr hohes, leicht zu beschädigendes Korn verlangen würde.

Die vorwärtsstrebende Kraft des Geschosses sei dargestellt für jede Sekunde durch die Größen a b, b c, c d, d e, e f (Fig. 5) der ursprünglichen Richtung a f und der Fallraum für die erste Se-

Fig. 5.



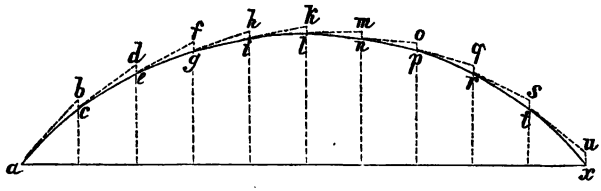
kunde durch die Größe b g. Während also das Geschoß bis b steigen will, wird es durch die Schwere $15^5/_8$ Fuß (um b g) behindert und kommt nach dem Punkte g.

Hätten wir gesetzt, es solle in 2 Sekunden den Weg a c = 2 . a b aufwärts gehen, so würde es 4 mal $15^5/_8$ Fuß behindert sein; es kann also nur bis h kommen.

So wird es bei dem dreifachen Wege 9 . $15^5/_8$ Fuß behindert, also nach i kommen; bei 4 Sekunden hindert die Schwere 16 . $15^5/_8$ Fuß, bringt also das Geschoß nach k, und nach 5 Sekunden, wo die Behinderung 25 . $15^5/_8$ beträgt, wird bei der Annahme unserer Figur der Erdboden wieder erreicht.

20. Für einen krummlinigten Weg haben wir noch nicht gezeigt, daß diese Art des Bestimmens von einzelnen Punkten richtig ist. Nachdem wir eine solche Bahn gezeichnet haben, wollen wir uns jetzt von der Richtigkeit des Verfahrens überzeugen. Die Figur 5 zeigt deutlich, daß das Fortschreiten des Geschosses auf dem Erdboden gemessen für gleiche Zeiten gleiche Wegelängen ergiebt. Das wollen wir nun benutzen in der Figur 6. Ist a b die Richtung und der Weg, welchen das Geschoß in der ersten Sekunde

Fig. 6.



durchlaufen möchte, so behindert die Schwere um $15^5/_8$ Fuß = b c, und das Geschoß geht auf dem Bogen a c bis c. Es hat jetzt ohne die Wirkung der Schwere das Streben, in der Richtung c d vorwärts zu gehen mit einer Geschwindigkeit, welche durch die Länge c d ausgedrückt wird.

Die Schwere läßt aber nur das Steigen bis e zu, welcher Punkt $15^5/_8$ tiefer liegt als d. Das Geschoß hat dann Richtung und Geschwindigkeit e f, gelangt aber nur bis g, wieder $15^5/_8$ Fuß tiefer als f, so geht es fort durch die Punkte i und l. Um zu wissen, daß die Geschwindigkeiten beim Steigen des Geschosses immer kleiner werden, braucht man nur daran zu denken, daß z. B. die Kraft g h stößt oder schiebt, während die Schwere h i zieht, daß Beide einen spitzen Winkel bilden und daß g h bedeutend größer ist als h i.

Das Geschoß erreicht nun den höchsten Punkt l und hat die genau wagerechte Richtung l m. Jetzt muß es durch die Wirkung der Schwere wirklich fallen; es kommt nach n, hat die Richtung n o, gelangt aber durch das Fallen nach p.

Jetzt bilden die Richtungen beider Kräfte einen stumpfen Wnikel, die Geschwindigkeit muß also beim Abwärtsgehen wieder wachsen. Jedenfalls sehen wir ganz sicher, daß das Steigen des Geschosses nicht etwa aufhört, weil das Vorwärtsstreben seine Kraft verloren hat, oder die Steigkraft nicht mehr hinreichend ist, sondern, weil die Richtung des Fluges wagerecht geworden ist und nun abwärts gehen muß. Die Geschwindigkeit ist im höchsten Punkte (Gipfel der Bahn, Culminationspunkt) am kleinsten; sie nimmt im aufsteigenden Aste fortwährend ab, wächst aber wieder im absteigenden Aste. Man kann sich auch leicht überzeugen, daß der absteigende Ast genau gleich dem aufsteigenden ist, daß also der Gipfel genau in der Mitte liegt, und daß die Geschwindigkeit, mit welcher das Geschoß auf den Erdboden kommt, gleich der ursprünglichen ist, d. h. ohne Luftwiderstand würde der Einfallwinkel gleich dem Richtungswinkel und die Endgeschwindigkeit gleich der Anfangsgeschwindigkeit sein.

21. Eine solche krumme Bahn, welche wir oben gezeichnet und betrachtet haben, und welche im luftleeren Raume entstehen müßte, heißt eine Parabel. Die geht uns in Wirklichkeit eigentlich gar nichts an; aber da man sagt: Ein Geschütz ist um so vollkommener, je mehr die Bahn seiner Geschosse sich der Parabel nähert, so müssen wir diese Vollkommenheit kennen lernen. Worin besteht sie? Im luftleeren Raum giebt es weder Wind noch Regen; darin liegt, daß die paraboliſche Flugbahn entstehen müßte, wenn auf dem Wege des Geschosses gar keine Störungen oder Hindernisse möglich wären, daß also ein Geschütz um so mehr seine Geschosse in einer Parabel schießt, je mehr diese im Stande sind, ohne Störungen durch die Luft zu gehen oder sie zu überwinden. Deshalb gehen wir jetzt zu der

d. Betrachtung der paraboliſchen Flugbahn.

Daß nicht alle Flugbahnen, also auch die paraboliſchen nicht, gleich sein können, ist selbstverständlich. Wodurch sind sie aber verschieden? Etwa durch das Gewicht der Geschosse? Nein, im luftleeren Raum würde es ganz gleichgültig sein, wie schwer das Geschoß ist, wenn es nur so viel Pulver bekommen hat, um eine bestimmte Anfangsgeschwindigkeit zu haben. Die Verschiedenheiten liegen:

1) in der Richtung bei gleichen Anfangsgeschwindigkeiten,
2) in der Anfangsgeschwindigkeit bei gleichen Richtungen, und
3) in beiden zugleich.

ad 1. Verschiedene Richtungen.

22. In Figur 7 haben wir drei Bahnen mit gleicher Anfangsgeschwindigkeit gezeichnet, eine für 30^0, die zweite für 45^0 und die dritte für 60^0 Erhöhung, und zwar in dem wirklichen Verhältnisse zwischen Höhen- und Längenabmessungen, wie wir es in diesem Falle zu Grunde gelegt haben, so daß die kleine Quadratseite unseres karrirten Papiers $15\frac{5}{8}$ Fuß betragen soll. Aus diesen Zeichnungen können wir angeben: wie weit wir mit den angenommenen Richtungen schießen, wie viel Sekunden das Geschoß fliegt, wie hoch in jedem beliebigen Punkte das Geschoß über dem Erdboden sich befindet, und wir können mit dem Zirkel messen, wie groß an jeder Stelle die Geschwindigkeit ist.

Richtung 45^0. Setzen wir eine kleine Quadratseite $15\frac{5}{8}$ Fuß, so ist die von uns angenommene Anfangsgeschwindigkeit auf

der Linie a b gleich 14,14 . 15⅝ Fuß*) = 220,9 Fuß. Auf dem Erdboden gemessen entspricht dieser Geschwindigkeit eine Länge 10 . 15⅝ = 156¼ Fuß, und da nach der Zeichnung die Flugzeit genau 10 Sekunden beträgt und in der Parabel in gleichen Zeiten gleiche Strecken über dem Erdboden zurückgelegt werden, so ergiebt sich eine Schußweite von 10 . 156¼ = 1562¼ Fuß, also gerade so viel, als das Geschoß in 10 Sekunden würde von der ursprünglichen Richtung a b haben fallen müssen. Der Kulminationspunkt h liegt genau in der Mitte, und wir sehen leicht, daß seine Höhe genau soviel ausmacht, als das Geschoß am Steigen behindert ist, nämlich, da bisher 5 Sekunden verflossen sind, 5 . 5 . 15⅝ Fuß = 390⅝ Fuß. Das gilt ganz allgemein: Will man in der Parabel die Steighöhe wissen, so multiplizirt man die halbe Flugzeit mit sich selbst und mit 15⅝ Fuß.

Beispiel: Die Flugzeit der 50ägen Bombe beträgt bei 40° auf 1500 Schritt 14,8 Sekunden. Die Hälfte davon ist 7,2; die Steighöhe ist also ungefähr 7,2 . 7,2 . 15⅝ = 856 Fuß.

Die Geschwindigkeit im Gipfel ist dargestellt durch die Linie h o und beträgt soviel, als $e_5\ e_6$ = 156¼ Fuß. Von da steigt sie wieder auf 220,9 Fuß Endgeschwindigkeit.

Man könnte sich also vorstellen, der absteigende Ast sei eine selbstständige Flugbahn mit horizontal gerichteter Anfangsgeschwindigkeit; bei horizontaler Richtung würde dann die Endgeschwindigkeit größer als die Anfangsgeschwindigkeit. Den Endpunkt jeder Bahn können wir somit entstanden denken aus der horizontalen Gipfelgeschwindigkeit und der Wirkung der Schwere während der halben Flugzeit als Fallzeit.

Die Höhe in jedem andern Punkte der Bahn kann man in der Figur abzählen, z. B. der Punkt p liegt 16 Quadratseiten hoch, also 16 . 15⅝ = 250 Fuß.

Richtung 30°. Auf der Linie a c sind die Strecken für die Anfangsgeschwindigkeit auch gleich 220,9 Fuß gemacht. Der entsprechende Weg auf der Erde a g oder $g_1\ g_2$ findet sich ungefähr 12 . 15⅝ = 187½ Fuß in einer Sekunde. Die Flugzeit ergiebt sich abgerundet 7¼ Sekunden, also die Schußweite 7¼ . 187½ = 1360 Fuß, nämlich weniger als bei 45°. Die Steighöhe ist $\frac{7¼}{2} \cdot \frac{7¼}{2} \cdot 15⅝$ oder nach der Figur 12¾ . 15⅝ = 199 Fuß, nämlich niedriger als bei 45°. Die Gipfelgeschwindigkeit ist gleich a g oder 187½ Fuß, also größer als bei 45°.

*) Nämlich $10\sqrt{2} = 10 . 1{,}414$.

Richtung 60°: Die Strecken auf der Richtungslinie a d sind 220,9 Fuß, dagegen die auf dem Erdboden a f oder $f_1 f_2 = 110{,}5$ Fuß. Die Flugzeit ist abgerundet $12\frac{1}{3}$ Sekunden, also die Schußweite $12\frac{1}{3} . 110{,}5 = 1363$ Fuß, gleich der von 30°, also kleiner als die von 45°. Die Steighöhe ist $= \frac{12\frac{1}{3}}{2} . \frac{12\frac{1}{3}}{2} . 15\frac{5}{8}$ oder nach der Figur: $38 . 15\frac{5}{8} = 594$ Fuß, also größer als bei 30 und 45°.

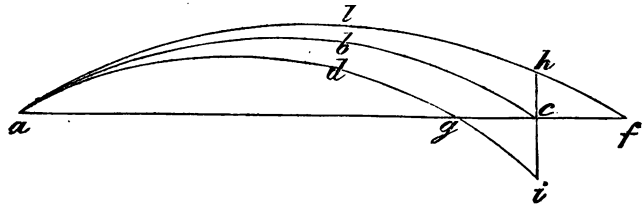
Es ist auffallend, daß bei 60° Erhöhung genau dieselbe Schußweite herauskommt, wie bei 30°, die kleine Abweichung von 3 Fuß liegt in der Unvollkommenheit der Zeichnung; indessen sieht man es deutlich genug, und zugleich, daß man mit 45 Grad weiter schießt oder wirft als mit 30 oder 60 Grad. Wenn man nun schon im Stande ist, mit solcher Leichtigkeit das Gefundene aus einer Zeichnung zu erkennen, so ist es gewiß erklärlich, daß dies noch viel einfacher und genauer durch Rechnung geschehen muß. In der That findet man nun durch Rechnung: bei gleichen Anfangsgeschwindigkeiten (gleiches Geschoß und gleiche Ladung) würde man im luftleeren Raume um so weiter schließen, je höher man richtet bis zu 45°. Ueber 45 Grad nehmen die Schuß- oder Wurfweiten genau wieder so ab, wie sie bis 45° gestiegen sind, nämlich solche Elevationen, welche gleich weit von 45° entfernt sind, wie z. B. 30 und 60 oder 20 und 70° geben gleiche Schußweiten. Der erste Satz ist ohne allen Beweis verständlich, und der zweite wird auch in der Wirklichkeit sehr nahe bestätigt, er ist ja auch sehr leicht erklärlich. Denken wir nämlich an einen Schuß senkrecht in die Höhe, so muß dieser gar keine Schußweite geben. Vorher schoß man bei Vergrößerung der Elevationen immer weiter. Es muß also nothwendig eine solche Richtung geben, von wo aus die Schußweiten wieder abnehmen und diese liegt genau in der Mitte zwischen 0 Grad und 90 Grad, ist also 45 Grad*). Die Flugbahnen für kleinere Elevationen als 30 Grad und namentlich bei Unterschieden von Grad zu Grad lassen sich in einer so kleinen Figur nicht mehr naturgetreu zeichnen. Deshalb müssen wir das bisher Gesagte für die Erklärung genügend halten und, was nun folgt, vorläufig den Rechnern, den Ballistikern, glauben, da es sich um ganz kleine Unterschiede in der Richtung handelt.

---

*) In der Formel $x = \frac{c^2}{g} \sin 2\alpha$ wird immer $2 (45^0 - \beta)$ das Supplement von $2 (45^0 + \beta)$; daraus ergeben sich gleiche Sinus, ob α um β unter 45° oder über 45° liegt.

Denken wir uns nämlich Figur 8. eine Bahn

Fig. 8.

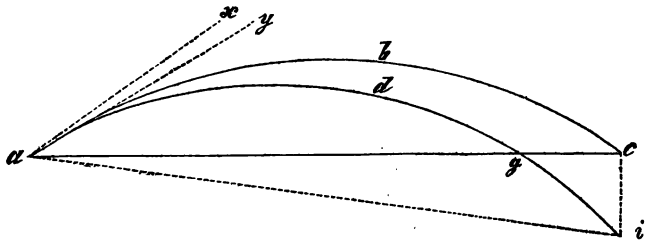


a b c, eine andere a l f, so dürfen wir, wenn die Richtungsunterschiede nur klein sind, annehmen, daß die drei Bahnen ganz genau zusammenfallen würden, wenn wir die Bahn a b c um den Richtungsunterschied zwischen a b c und a l f und die Bahn a d g um den zwischen a d g und a l f aufwärts schwenken könnten. In diesem Falle würden alle drei Bahnen den Punkt h treffen.

Ebenso können wir uns vorstellen, daß wir die Bahn a b c abwärts schwenken könnten; dann würden wir den Punkt i treffen.

Das kann man nun wirklich machen, und die Sache sieht so aus:

Fig. 9.

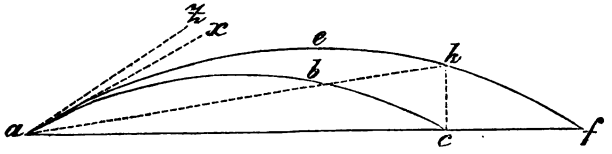


23. Unsere Theorie des Schießens und unsere Schußtafeln beziehen sich darauf, daß der Zielpunkt genau so hoch liegt, als die Geschützmündung, oder wie man sagt, im Horizonte der Geschützmündung, so daß ein Schuß aus genau horizontal gerichtetem Rohre streng genommen die Schußweite Null giebt. In Wirklichkeit wird der zu treffende Pnnkt aber höher oder tiefer liegen. Liegt er nun tiefer, wie in Figur 9., so geben wir dem Geschütz so viel weniger Elevation als die Höhe i c verlangt oder als der Winkel c a i beträgt, welchen man Terrainwinkel nennt.

Weil der Punkt i unter dem Horizonte der Geschützmündung liegt, also weil er weniger Elevation verlangt, heißt dieser Terrain-

winkel ein negativer. Er erfordert, daß die neue Elevation y a c um so viel kleiner ist, als die für die richtige horizontale Entfernung, also als x a c, so daß der Winkel x a y gleich dem negativen Terrainwinkel ist. Wenn aber der zu treffende Punkt höher liegt als die Mündung, so nennen wir den Terrainwinkel einen positiven, weil offenbar die neue Elevation Fig. 10. größer werden muß als die für die horizontale Entfernung, weil also der Terrainwinkel zu der richtgen Elevation addirt werden muß.

Fig. 10.



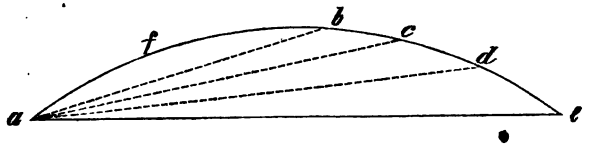
Diese Auseinandersetzungen werden auch durch das praktische Schießen bestätigt; und sie enthalten den wichtigsten Satz der theoretischen Artillerie oder Ballistik:

Bis etwa 15 Grad Elevation sind alle Bahnen derselben Anfangsgeschwindigkeit als Theile einer und derselben Bahn anzusehen, wenn man ihren Horizont und die Richtungsunterschiede aufwärts geschwenkt denkt (Fig. 11).*)

Dies bedeutet, daß die Bahn a f b also ein Stück von a b c ist, wenn man für die Entfernung a b den positiven Terrainwinkel b a e hat oder für a b c den Terrainwinkel c a e, oder für a b d den Terrainwinkel d b f. Dieser Erscheinungen wollen wir uns beim praktischen Schießen erinnern.

Durch diese Eigenschaft haben wir auch das einfachste Mittel, nach einer Schußtafel die Flugbahnen zu zeichnen, was wir uns indessen bis zur Kenntniß der wirklichen Bahnen unserer Geschosse, wie sie sich in der Luft gestalten, aufsparen wollen.

Fig. 11.



*) Für gezogene Geschütze dürfen wir den Satz auch auf noch höhere Elevationen praktisch ausdehnen.

ad 2. Verschiedene Anfangsgeschwindigkeiten.

24. In Fig. 12. haben wir zwei Bahnen mit gleicher Richtung im natürlichen Verhältnisse gezeichnet. Für die Bahn a b c beträgt die Anfangsgeschwindigkeit a f = 168 Fuß oder horizontal gemessen 156¼ Fuß, dagegen a g für die Bahn a d e doppelt so viel, also 336 oder horizontal 312½ Fuß.

Nun ergiebt sich für

	Bahn a b c	—	Bahn a d e.
Flugzeit	4 Sekd.	—	8 Sekd.
Schußweite	. 4 . 156¼ = 625 Fuß	—	16 . 156¼ = 2500 Fuß
Steighöhe	. . 4 . 15⅝ = 62½ "	—	16 . 15⅝ = 250 "
Gipfelgeschwindigkeit	. . 156¼	—	2 . 156¼ = 313½ "

Wir sehen also: die doppelte Anfangsgeschwindigkeit giebt die doppelte Geschwindigkeit in jedem Punkte. Wenn nun ein Körper die 2 fache Zeit 2 fach so schnell fliegt, so muß er 2 . 2 mal so viel Weg zurücklegen als ein anderer, und wirklich sehen wir, daß in der Bahn a d e die Schußweite 2 . 2 oder 4 mal so groß ist als in der Bahn a b c. Dasselbe ist bei der Steighöhe der Fall. Bei dreifacher Geschwindigkeit würden wir 3 fache Flugzeit finden, also 3 . 3 fache Schußweite. Wir leiten daraus folgendes Gesetz ab:

Für gleiche Elevationen verhalten sich die Schußweiten wie die Quadrate der Anfangsgeschwindigkeiten. Der gefundenen Sätze haben wir uns zu erinnern nach der Betrachtung der verschiedenen Kaliber unserer gezogenen Geschütze, um daraus und aus der Verbindung (ad 3) beider Elemente die verschiedensten Kenntnißmittel für unsere Flugbahnen oder deren Schußtafeln zu bilden. Wir kennen aber jetzt die Eigenschaften der paraboliſchen Flugbahn so hinreichend, daß wir zu den Flugbahnen der Wirklichkeit, zu denen im lufterfüllten Raume übergehen dürfen. Indessen seien die der Parabel entsprechenden Formeln noch hier angefügt:

Bezeichnen x die Schußweite, α die Elevation, c die Anfangsgeschwindigkeit, y die Höhe eines beliebigen Bahnpunktes, φ den Winkel, welchen die Tangente in diesem Punkte mit dem Horizonte bildet (auch Einfallwinkel), v die Geschwindigkeit des Geschosses in diesem Punkte (auch Endgeschwindigkeit) und g die Zahl 31¼ Fuß, so ist:

$x = \frac{c^2}{g} \sin 2\alpha$, $\sin 2\alpha = \frac{x\,g}{c^2}$, $c = \sqrt{\frac{x\,g}{\sin 2\alpha}}$,
$y = x \tang \alpha - \frac{g\,x^2}{2\,c^2 \cos \alpha^2}$, für den Gipfel: $y = \sin \alpha^2 \frac{c^2}{2\,g}$
und $x = \frac{c^2}{2\,g} \sin 2\alpha$, $v = \frac{c.\cos \alpha}{\cos \varphi}$. Bedeutet noch t die Flugzeit in Sekunden, so ist für jede Bahnstrecke $x = c\,t \cos \alpha$ und $t = \frac{x}{c.\cos \alpha}$.

D. Von den Flugbahnen im lufterfüllten Raume.

a. Geschichtliches.

25. Zu den eben betrachteten Elementen der Flugbahnen tritt der Widerstand der Luft, verbunden mit Kräften, welche durch die Rotation erregt werden. Durch die Wirkung dieser Kräfte verlieren die Flugbahnen die Gestalt der Parabel. Wir haben zu untersuchen, wie weit wir dennoch die für die Parabel gefundenen Gesetze verwerthen dürfen. So einfach die vorhin vorgetragenen Theorien sind, so konnten sie nicht ohne Hülfe der großen Männer aufgestellt werden, denen wir die Kenntniß der Schwerkraft verdanken. Die noch heute vorkommende Ansicht, wonach der Kernschuß eine horizontale Linie gebe, während er in Wirklichkeit derjenige Elevationsschuß eines nicht verglichenen Geschützes ist, für welchen die Visirlinie, aber nicht die Seelenaxe, horizontal ist, war schwer zu überwinden. Indessen zeigte schon 1537*) also lange vor der Entdeckung der Fallgesetze, der Italiener Tartaglia, daß kein Theil der Kugelbahn eine gerade Linie sei, und daß 45 Grad die größte Schußweite geben müßten. Dann zeigte Galiläi, die Bahn müsse eine Parabel sein und zwar nur so lange, als der Luftwiderstand dies nicht verändere. Diese letztere Andeutung wurde aber wieder übersehen, weil man sie nicht glaubte. Man stellte sich neben der Parabel auch die Bahn als aus drei Theilen bestehend vor: den ersten Theil in der Richtung der Anfangsgeschwindigkeit (motus violentus), den dritten als eine senkrechte Linie (motus naturalis) und dazwischen einen verbindenden Bogen (motus mixtus.) Die Gesetze des Luftwiderstandes wurden zu Ende des 17. Jahrhunderts untersucht, und die erste Theorie des Schießens ist 1719 von Joh. Bernoulli bekannt gemacht. Die Theorie, welcher wir jetzt folgen, ist von dem Deutschen Euler, dem größten Mathematiker, den es je

*) Gehler's physikalisches Wörterbuch (Ballistik).

gegeben hat, und das am allgemeinsten anerkannte Luftwiderstandsgesetz rührt von dem als Physiker gleich großen Engländer Newton her.

Die Schwierigkeit der Behandlung ließ aber bis in neuere Zeiten die parabolische Theorie beliebter erscheinen. Erst seit etwa 30 Jahren ist das sogenannte ballistische Problem durch unendliche Mühen bei der Anlegung von ballistischen Tafeln*) so weit geführt, daß es jetzt nicht sehr großer mathematischer Mittel bedarf, verstanden zu werden. Wenn auch die parabolische Theorie nicht ganz ausreichte, so hat sie doch dem praktischen Bedürfnisse in einer solchen Weise gedient, daß, wie wir hier sehen werden, alle Fragen der Praxis längst vor der Feststellung der Theorie genügend gelöst werden konnten, daß dies aber namentlich jetzt der Fall ist, wo wir Geschütze haben, welche nicht durch die Unregelmäßigkeiten ihrer Ergebnisse jede Theorie verspotten. Der Stand der Wissenschaften ist jetzt also ein solcher, daß man immerhin sagen darf, das ballistische Problem sei dem Bedürfnisse entsprechend entwickelt;**) namentlich darf man das sagen in Rücksicht auf die Einführung einer Methode, welche alle Fragen der Artillerie durch Zeichnung beantwortet und deshalb die graphische Methode genannt wird. Wir werden, indem wir auf das entsprechende Werk des Herrn Major Nördansz verweisen, weiter unten eine Anschauung davon geben bei der Aufstellung von Schußtafeln.***) Eine neue Aufgabe bietet jetzt die Berücksichtigung der Rotation, welche bei der Berechnung der Flugbahnen der Rundkugeln aus glatten Geschützen solche Schwierigkeiten einführte, daß für diesen Fall eine hinreichende, rein mathematische Lösung wohl nie zu erwarten sein dürfte. Die Erfahrung und Wissenschaft zeigen, daß bei der Beurtheilung der Bahnen der Geschosse gezogener Geschütze diese Hindernisse nicht unüberwindlich sind.†)

---

*) Neue ballistische Tafeln des Herrn Generalmajor Otto.

**) Die Arbeiten des Herrn Generalmajor Otto, zusammengestellt durch den Herrn Hauptmann v. Schirmann „Versuch zu einem System der Artilleriewissenschaft." Ferner 1) in elementaren Formeln, 2) in analytischer Herleitung, 3) durch eine eigenthümliche Konstruktion, 4) durch eine graphische Darstellung der ballistischen Reihe in „Ballistik der gezogenen Geschütze" von Prehn.

***) Die graphische Methode ist bei uns durch den Herrn Major Willerding eingeführt und ausgebildet; ihrer Eigenthümlichkeit wegen würde man sie sehr passend Linealinterpolation nennen.

†) Die Arbeit des Herrn General Majewsky von der K. russ. Artillerie: De l'influence du mouvement de rotation sur la trajectoire des projectiles oblongs dans l'air.

b. Der Widerstand des Mittels.

26. Bewegt sich ein Körper im Wasser, so ist dieses das Mittel oder Medium, in welchem er fortschreitet; geschieht die Bewegung in der Luft, so ist diese das Mittel. Jedes Mittel äußert einen Widerstand gegen die Bewegung. Im Wasser kann man sich davon leicht überzeugen, und die alltäglichsten Thatsachen zeigen, daß es in der Luft ebenso ist. Man hat sich aber lange gesträubt, diese Thatsachen auch für die großen Geschwindigkeiten und die bedeutenden Gewichte der Geschosse gelten zu lassen. Der Widerstand des Mittels besteht offenbar darin, daß ein Theil desselben mit mehr oder weniger Geschwindigkeit verdrängt werden muß, und daß sowohl die verdrängte Masse selbst als auch die Nachbarschaft derselben sich dagegen wehrt. Es ist auch leicht zu erkennen, daß durch die Reibung des Mittels an den Wänden des bewegten Körpers eine hindernde Kraft entstehen kann und umgekehrt, daß durch das Wiederzusammenfließen des Mittels hinter dem Körper eine Beförderung der Bewegung hervorgehen kann. Abgesehen von der Schwierigkeit, diese beiden letzten Einflüsse der Beobachtung und der Rechnung zu unterwerfen, zeigt die Theorie, welche sich auf die Nichtbeachtung derselben stützt, und die Uebereinstimmung ihrer Resultate mit der Wirklichkeit, daß ihre Wirkungen, obgleich unleugbar, so gering sind, daß man sie mit Recht als nicht vorhanden betrachten darf.

27. Der Beweis, welcher am besten überzeugt von der Existenz des Luftwiderstandes, besteht darin, zu zeigen, daß er gegen verschiedene Geschosse verschieden auftritt.

1) Aus dem glatten 24 ℔er ist bei 4 Grad Elevation mit verschiedenen Ladungen geschossen, die Anfangsgeschwindigkeiten sind gemessen, die Schußweiten nach der paraboliſchen Theorie berechnet (also wenn kein Luftwiderstand vorhanden wäre) und dadurch folgende Resultate erhalten:

Ladung. ℔	Anfangsgeschwindigkeit. Fuß.	Schußweite berechnet. Fuß.	Schußweite beobachtet. Fuß.	Fehler der Rechnung. Fuß.
4	1112	5151	3211	1940
6	1228	6886	3708	3178
8	1327	8017	4020	3997
10	1386	8721	4224	4497
12	1411	9073	4428	4645

2) Aus dem glatten 6 ℔er erhielt man mit 2 ℔ Ladung oder

1580 Fuß Anfangsgeschwindigkeit bei 4 Grad nur eine Schußweite von 1680 Schritt, während die Rechnung 4660 Schritt ergab, also einen Verlust von 2980 Schritt oder $^2/_3$ der ganzen Schußweite.

3) Der gezogene 6℔er gab bei 4 Grad mit $1,_2$ ℔ oder 1060 Fuß Anfangsgeschwindigkeit eine wirkliche Schußweite von 1800 Schritt, die berechnete aber 2085, also einen Verlust von 285 Schritt oder etwa $^1/_7$ der ganzen berechneten Schußweite.

4) Der gezogene 24℔er gab bei 4° Grad mit 4 ℔ oder 940 Fuß Anfangsgeschwindigkeit in Wirklichkeit 1550 Schritt, durch Rechnung aber 1640 Schritt, also einen Verlust von 90 Schritt oder $^1/_{18}$ der ganzen Schußweite.

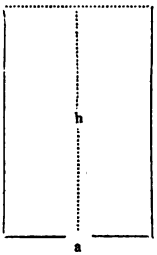
Es ist für diese Verschiedenheiten kein anderer Grund denkbar, als die Verschiedenheit der Wirkung des Luftwiderstandes. Diese Ansicht wird zur Wahrheit durch die Uebereinstimmung der auf diese Hypothese gestützten Rechnungsresultate mit den wirklichen Ergebnissen.

28. Der Luftwiderstand ist ganz bestimmten Gesetzen unterworfen, welche seine Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, der Form und der Schwere des bewegten Körpers ausdrücken. In Bezug auf die erstere lautet das Newton'sche Luftwiderstandsgesetz: Der Luftwiderstand verhält sich wie die Quadrate der Geschwindigkeiten. Wir wollen durch eine einfache Anschauung dieses Gesetz erläutern und dann auch die Herleitung Newton's geben. Denken wir uns, das Geschoß wolle in irgend einer Zeit 1 Fuß zurücklegen, so hat es eine gewisse Masse Luft, z. B. a zu verdrängen; wollte es dagegen in gleicher Zeit 2 Fuß zurücklegen, so würde die Masse 2 a zu verdrängen sein. Das Geschoß drängt vor dem Abfließen der Luft diese in den nächsten Schichten zusammen und zwar bei doppelter Geschwindigkeit doppelt so stark als bei einfacher Geschwindigkeit. Es beseitigt also auf dem doppelten Wege in gleicher Zeit doppelt so viel Luft, welche gleichzeitig unmittelbar vor ihm doppelt so dicht ist. Also, war im ersten Falle der Widerstand a, so ist er im zweiten Falle 2 . 2 a, bei dreifacher Geschwindigkeit würde er 3 . 3 a sein u. s. w.

Newton drückt das allerdings anders aus, und da wir nicht die Aufgabe haben, seine Gründe zu beweisen, so wollen wir nur eine Vorstellung von der Herleitung des Gesetzes geben: Es ist ganz gleich, ob das Geschoß mit einer gewissen Geschwindigkeit gegen die Luft drückt, oder ob die Luft mit derselben Geschwindigkeit gegen das Geschoß drängt — in beiden Fällen ist die Zahl, welche den Druck darstellt, gleich groß.

Denkt man ſtatt der Luft Waſſer, welches aus einem gefüllten Gefäße von der Höhe h durch die Oeffnung a (Fig. 13) ausfließt, ſo iſt die Geſchwindigkeit, mit welcher dies geſchieht, ſo groß, als ſei das Waſſer von der Höhe h frei heruntergefallen.

Fig. 13.



Denken wir uns vor a ein Brett, ſo hat dieſes den Waſſerſtrahl von der ſo beſtimmten Geſchwindigkeit zu ertragen, oder es hat eine Waſſerſäule von der Grundfläche a und der Höhe h zu tragen. Beides iſt offenbar ein und daſſelbe. Wir haben nun bei der Betrachtung der Schwerkraft ſchon geſagt, daß man jede Geſchwindigkeit als durch ein Fallen entſtanden denken kann, uud daß man die ſogenannte Geſchwindigkeitshöhe ermitteln kann, welche der beſtimmten Geſchwindigkeit entſpricht. Nach dem Obigen können wir alſo ſagen: der Druck, den fließendes Waſſer ausübt, iſt ſo groß als der Druck oder als das Gewicht einer Waſſerſäule, welche ſo hoch iſt, als die Geſchwindigkeitshöhe des Waſſers, und ſetzen wir ſtatt des Waſſers nun wieder Luft, ſo heißt das: der Druck, welchen bewegte Luft ausübt, iſt ſo groß als der Druck oder als das Gewicht einer Luftſäule, welche ſo hoch iſt, als die Geſchwindigkeitshöhe der Luft. Wenn nun die Luft unbeweglich iſt, dagegen das Geſchoß ſich bewegt, ſo erhalten wir den Satz: der Widerſtand der Luft iſt ſo groß als das Gewicht einer Luftſäule, welche ſo hoch iſt, als die Geſchwindigkeitshöhe des Geſchoſſes. Erinnert man ſich jetzt, daß die Geſchwindigkeitshöhen (Fallräume) ſich verhalten wie die Quadrate der Geſchwindigkeiten $\left(\frac{v^2}{2g}\right)$, ſo heißt das Geſetz:

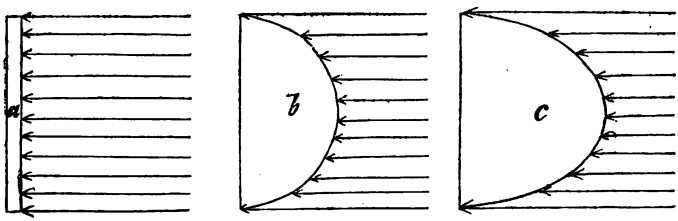
Der Luftwiderſtand verhält ſich wie die Quadrate der Geſchwindigkeiten des Geſchoſſes.

Die Grundfläche der drückenden Luftſäule iſt der Durchſchnitt des Geſchoſſes, welchen es der geraden Einwirkung der Luft darbietet, alſo bei der Kugel ein Kreis, bei einem Cylinder, welcher nach der Richtung ſeiner Achſe ſich bewegt, ebenfalls ein Kreis.

Es würde demnach leicht ſein, den Widerſtand zu berechnen, welchen Waſſer oder Luft gegen eine gewiſſe Fläche bei gegebener Geſchwindigkeit ausüben. Die Fläche ſei zunächſt eben und habe 1 Quadratfuß und die Geſchwindigkeit von 2 Fuß in der Sekunde. Die Geſchwindigkeitshöhe iſt dann $h = \frac{2.2}{2.31\frac{1}{4}}$; der kubiſche Inhalt der entſprechenden Waſſerſäule iſt $\frac{1\,\square'.2.2}{2.31\frac{1}{4}} = 0{,}_{064}$ Kubikfuß, und

da 1 Kubikfuß Waſſer 61,7 ℔ wiegt, ſo iſt der geſuchte Druck $0{,}064 \cdot 61{,}7\ ℔ = 3{,}9\ ℔$. Wäre die Geſchwindigkeit aber 10 Fuß in der Sekunde, ſo würde der Widerſtand 25 mal ſo groß ſein, oder wäre die Fläche 4 Quadratfuß, ſo wäre der Druck 4 mal ſo groß. Dies Letztere drückt ſich durch den Satz aus: Der Widerſtand gegen verſchieden große Flächen verhält ſich wie dieſe Flächen, — deshalb hat nothwendig das 24℔ge Geſchoß beinahe 4 mal ſo viel Widerſtand zu überwinden wie das 4℔ge. Sind die Flächen Kreiſe, ſo erhält man das Verhältniß der Quadrate der Radien oder der Durchmeſſer. Anders aber verhält es ſich mit der Fähigkeit, den Luftwiderſtand zu überwinden. Wenn wir uns ein Brett, eine Halbkugel oder die Spitze unſerer Geſchoſſe (alle drei von gleichem Durchmeſſer) im Waſſer bewegt denken, ſo iſt leicht zu verſtehen, daß es dem Brette am ſchwerſten werden muß, den Widerſtand zu überwinden. Stellt man ſich nämlich vor, das Waſſer beſtehe aus einzelnen Strahlen, ſo zeigt die Fig. 14, wie bei gleicher Grundfläche alle drei Körper von gleich viel Strahlen getroffen werden, aber daß bei dem Brette (a) alle Strahlen geradezu rückwärts gedrängt werden müſſen, während ſie

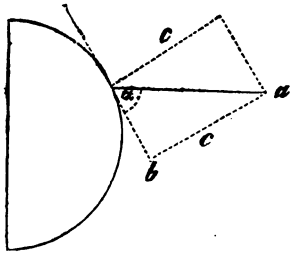
Fig. 14.



durch die Halbkugel (b) leichter zur Seite gebogen werden, alſo abfließen, und daß dies noch mehr der Fall ſein wird bei der Geſchoßſpitze (c). Das Brett hat recht eigentlich den ganzen Widerſtand zu ertragen, welchen wir mit 1 bezeichnen wollen, dann zeigt die Rechnung oder die Erfahrung, daß wir für die Halbkugel etwa $^1/_2$, für die ogivale oder ovoide Spitze etwa $^1/_4$ zu ſetzen haben.

29. Da wir bei der Betrachtung der Einflüſſe der Rotation von dem hier Entwickelten Gebrauch machen müſſen, ſo iſt nöthig, den Gegenſtand noch genauer zu betrachten. Denken wir uns in Fig. 15 einen Strahl a auf die Fläche des Geſchoſſes treffend, ſo wirkt er nicht mit ganzer Kraft auf dieſelbe, ſondern wir müſſen

Fig. 15.



dieſelbe nach der Richtung der Tangente b und ſenkrecht dazu, nach der ſogenannten Normalen c in zwei Kräfte zerlegt denken, von welchen diejenige in der Richtung der Tangente offenbar keinen Druck ausüben kann, ſondern verloren geht. Zur Wirkſamkeit gelangt nur die normale Kraft c, welche man ihrer Größe nach beſtimmen kann (als a sin α). Man ſagt deshalb: Die Luft greift jeden Punkt der Oberfläche ſenkrecht oder in der Richtung der Normale an. (War a die Geſchwindigkeit, ſo bleibt nur a sin α übrig, alſo man hat: Der Luftwiderſtand ſteht im Verhältniſſe des Quadrates des Sinus desjenigen Winkels, unter welchem ſeine Richtung auf die Fläche wirkt.) Der geſammte Widerſtand iſt nun die Summe aller Normalen, und deshalb iſt der Widerſtand gleich dem Drucke einer Luftſäule, welche nur einen gewiſſen Antheil der Geſchwindigkeitshöhe zur Höhe hat. Dieſer Antheil iſt eben mit der Form des Geſchoſſes verſchieden und die ihn ausdrückende Zahl, alſo eben 1, $^1/_2$, $^1/_4$, heißt die Luftwiderſtandskonſtante.

30. Bewegen ein 24 ℔ges Geſchoß und ein 4 ℔ges ſich nach der Richtung ihrer Längenaxe, ſo bietet erſteres dem Luftwiderſtande eine größere Fläche, hat alſo auch mehr Druck zu ertragen. Beide Spitzen ſind ſehr nahe ähnlich, deshalb ſtehen auch die Summen der normalen Drucke in dem Verhältniß der Querſchnittsflächen oder der Quadrate der Durchmeſſer alſo $3^2 : 5 . 70^2$. Dennoch zeigt die Erfahrung, daß die 24 ℔ge Granate weniger von der Luft zu leiden hat als die 4 ℔ge, und zwar iſt dies der Fall, weil die erſtere bei gleicher Geſchwindigkeit mehr Kraft zur Ueberwindung der Hinderniſſe hat. Fällt ein Hammer von 100 ℔ mit gleicher Geſchwindigkeit wie einer von 25 ℔, ſo äußert er 4 mal ſo viel Kraft; das iſt das Verhältniß der Perkuſſionskraft, welche berechnet wird als Product aus Gewicht und Geſchwindigkeit. Die Per-

kussionskraft heißt auch Größe der Bewegung oder Moment derselben. So hat das schwerere Geschoß ein größeres Moment der Bewegung, es wirft also die Luftstrahlen leichter zurück, und es ergiebt sich der Satz: Der Luftwiderstand verhält sich umgekehrt wie die Gewichte der Geschosse.

Nennen wir die Geschoßdurchmesser d, so verhalten sich die Gewichte wie d^3 oder wie die 3. Potenzen der Durchmesser, die Luftwiderstände also wie $\frac{1}{d^3}$. Für die Flächen hatten wir d^2, also können wir sagen: Die Luftwiderstände gegen unsere verschiedenen Granaten verhalten sich wie $\frac{d^2}{d^3} = \frac{1}{d}$, also umgekehrt wie die Durchmesser derselben, d. h. die 4 Zöller Granate leidet beinahe doppelt so viel als die 24 Zöller.

Die sich unmittelbar ergebende Folgerung ist:

1) Ein Vollgeschoß und ein Shrapnel überwinden den Luftwiderstand leichter als ein Hohlgeschoß, und
2) die Geschosse der gezogenen Geschütze erleiden durch den Luftwiderstand weniger Verlust an Geschwindigkeit als die Kugeln der glatten Geschütze, weil sie bei gleichem Durchmesser schwerer und günstiger geformt sind als diese.

c. Vorstellung von einer Flugbahn mit Rücksicht auf den Luftwiderstand.

31. Bei der Zeichnung einer richtigen Flugbahn kann es in einer so kleinen Figur natürlich nur darauf ankommen, sich eine Vorstellung zu machen von den allgemeinsten Verhältnissen. Die Thatsache ist, daß das Geschoß durch den Luftwiderstand an Geschwindigkeit verliert; es verliert aber auch durch die Veränderung der Richtung zur Richtung der Schwerkraft, was wir bei der Betrachtung der Parabel erkannt haben. Der wirkliche Verlust wird sich durch eine Rechnung ausdrücken lassen. Diese Rechnung ist aber nicht ganz einfach; dennoch wollen wir an die Bildung einer Flugbahn gehen. Wir stellen uns nämlich vor, daß es auch hier angänglich sei, zu sagen, es sei gleichgültig für die Bestimmung einzelner Punkte, ob wir die Kräfte als fortwährend ihre Richtung ändernd annehmen, oder ob wir, wie bei der Bildung der Parabel, jede Kraft für sich die zugehörige Zeit in ihrer ursprünglichen Richtung wirkend denken.

Die Anfangsgeschwindigkeit habe also die Richtung $a\,b = 45^0$ (Fig. 16); der Luftwiderstand verkleinert sie fortwährend. Wir

wollen also annehmen, nach jeder Sekunde habe sie nach unserm Maßstabe die halbe Länge eines kleinen Quadrats verloren, d. h. sie reiche in der ersten Sekunde zu dem Punkte 1 oder $9\frac{1}{2}$ Quadrate; in der zweiten Sekunde verliere sie wieder $\frac{1}{2}$, reiche also bis $9\frac{1}{2} + 9$, in der dritten Sekunde bis $9\frac{1}{2} + 9 + 8\frac{1}{2}$, dann bis $9\frac{1}{2} + 9 + 8\frac{1}{2} + 8$, bis $9\frac{1}{2} + 9 + 8\frac{1}{2} + 8 + 7\frac{1}{2}$ u. s. w. Von diesen so bestimmten Punkten aus denken wir das Geschoß in der ersten Sekunde $15\frac{5}{8}$ Fuß gefallen (am Steigen gehindert), in der zweiten Sekunde $4 . 15\frac{5}{8}$, dann $9 . 15\frac{5}{8}$ u. s. w. wobei wieder $15\frac{5}{8}$ Fuß durch eine kleine Quadratseite dargestellt werden soll. Wir erhalten dann die Bahn a c d e f g h i k, zu deren Betrachtung wir auch die zugehörige Parabel a l m gezeichnet haben. Zuerst fällt in die Augen, daß der aufsteigende Ast sich nur wenig von der Parabel trennt, daß diese Trennung aber mit zunehmender Entfernung wächst. Man erkennt, daß der absteigende Ast deshalb steiler sein muß, als der aufsteigende, d. h. in der wirklichen Flugbahn ist der Einfallwinkel größer als der Elevationswinkel.

Der Kulminationspunkt liegt in der Parabel weiter nach vorn gerückt als in unserer Bahn, aber er liegt in der Mitte seiner Bahn, während in der wirklichen Flugbahn, wie die Figur zeigt, der Gipfel über die Mitte hinausgeschoben ist. Im absteigenden Aste wachsen allerdings die Geschwindigkeiten, aber sie erreichen nicht die frühere Größe, d. h. die Endgeschwindigkeiten sind kleiner als die Anfangsgeschwindigkeiten.

Eine solche Flugbahn heißt eine ballistische Linie. Je mehr dieselbe von der für den luftleeren Raum berechneten Bahn abweicht, um so mehr muß das Geschoß durch den Widerstand der Luft gelitten haben, und um so mehr Gründe haben sich eingestellt, das Ziel verfehlen zu lassen. Wir haben aus dem vorhin angeführten Vergleiche zwischen dem glatten 6Ller und dem gezogenen 6Ller deutlich genug gesehen, wie der letztere dem ersteren überlegen ist in Bezug auf Ueberwindung des Luftwiderstandes. Daraus folgt natürlich, die Rundkugel hat dem Luftwiderstande mehr nachgegeben, die ableitenden Kräfte hatten auf sie mehr Einfluß. Das sind die Hauptgründe, weshalb ein gezogenes Geschütz bei gleicher Elevation mit weniger Ladung weiter schießt und sicherer trifft: die leichtere Ueberwindung des Luftwiderstandes.

32. Ohne Zweifel muß nun durch diese Vervollkommnung der Geschütze auch die Berechnung der Flugbahnen einfacher geworden sein. Es ist nämlich sehr wichtig zu beachten, daß bei den glatten Geschützen so viel üble Umstände eintreten, welche sie noch außer

dem ungünstigen Ueberwinden des Luftwiderstandes hinter unsern heutigen zurückstehen lassen. Das Geschoß muß nothwendig Spielraum haben — durch diesen geht viel Pulvergas und zwar in ungleichmäßigen Massen verloren, die Anfangsgeschwindigkeiten sind also großem Wechsel unterworfen, was noch einen anderen Hauptgrund darin hat, daß die Ladungen ungleichmäßig verbrennen. Durch den Spielraum ist dem Geschosse gestattet, im Rohre Anschläge (Battements) zu machen — der letzte Anschlag kann aber unten, oben, rechts, links in der Seelenmündung sein, d. h. die Kugel ist von vornherein gar nicht gezwungen, der vorgeschriebenen Richtung zu folgen. Ein andrer Umstand ist die Rotation des Geschosses, denn jede Kugel dreht sich bei ihrer Bewegung; diese in die Gewalt zu bekommen, hat man namentlich in Preußen versucht, und es ist, so weit möglich, gelungen durch die sogenannten excentrischen Bomben oder Granaten.

33. Wenn wir uns nun eine Vorstellung von der Möglichkeit der Berechnung einer Flugbahn machen wollen, so haben wir nur daran zu denken, daß nach unserer Figur die ballistische Linie fortwährend unter der paraboliſchen liegt, und daß die erstere den angenommenen Horizont schon wieder trifft, während die andere sich noch in der Luft befindet.

Fig. 17.

Diese beiden Punkte sind in Figur 17 dargestellt durch b und c. Den Punkt b haben wir aus wirklichen Schießversuchen, denn a b ist eben die natürliche Schußweite; die Höhe des Punktes c können wir aber leicht berechnen, ja, wie wir gesehen haben, sogar zeichnen. Wenn wir also mit verschiedenen Elevationen oder verschiedenen Ladungen geschossen haben, so ist es leicht zu bewerkstelligen, daß die Länge b c bekannt wird. Nun ist nichts in der Natur ohne Gesetzmäßigkeit; es wird also ein Gesetz für die Berechnung der Linie b c geben, wenn wir auch nicht mit der Elevation geschossen haben, für welche wir sie wissen wollen. Dieses Gesetz ist auch in Wirklichkeit für die gezogenen Geschütze gefunden, und zwar als ein sehr kleiner, einfacher Theil der frühern großen Arbeiten unserer Vorfahren. Es hat sich gezeigt, daß die Rechnungen so einfach

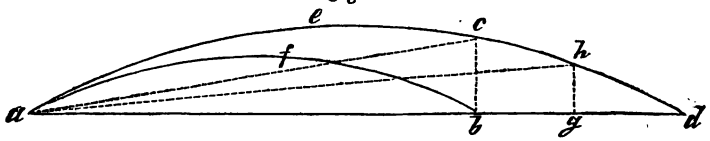
werden, daß sich Niemand zu fürchten hat, der ebene Trigonometrie getrieben hat.*)

Die Rechnungen können eine Flugbahn bestimmen, ehe man eine ausführliche Schußtafel hat. Da für die bisherigen Geschütze die Rechnungen aber kaum ausführbar waren, so hat man sich nach anderen, einfachen Mitteln umgesehen. Durch sehr sinnreiche Gedanken und scharfe unausgesetzte Beobachtungen ist man dahin gekommen, aus einer guten Schußtafel sich ein Bild der Flugbahn zusammenzusetzen.

d. Zeichnung einer Flugbahn aus der Schußtafel und der Winkeltabelle.

34. Eine der wichtigsten Eigenschaften der paraboliſchen Flugbahn ist diejenige (Nr. 23), welche uns gestattet, die ganze Bahn uns um den Anfangspunkt drehbar zu denken; also: wollen wir einen über dem Horizonte gelegenen Punkt treffen, so richten wir so viel höher als der Terrainwinkel beträgt, nach einem tiefer gelegenen Punkte richten wir um den Terrainwinkel tiefer. Je näher nun eine wirkliche Flugbahn sich einer Parabel anschließt, um so sicherer dürfen wir diesen Satz beim praktischen Schießen verwenden. Die nächste Folge davon ist dieselbe, welche wir bei der Parabel gesehen haben.**) Der Punkt c soll getroffen werden, wenn b auf 1000 Schritt von a liegt und c etwa 50 Fuß über b (Fig. 18).

Fig. 18.



Dann wird die wirklich treffende Bahn doch in Bezug auf den Horizont weiter als b reichen müssen, nämlich etwa bis d. Da

*) Leser, welche an der wissenschaftlichen Begründung der Lehre von den Flugbahnen theilnehmen, bitten wir, „Die Ballistik der gezogenen Geschütze und den Versuch über die Elemente der inneren Ballistik“ von dem Verfasser der vorliegenden Arbeit zu beachten.

**) Man hat sich die wirklichen Flugbahnen vorzustellen, um zu erkennen, daß die Strecke a c (Fig. 18) nur sehr wenig größer ist als a b, und daß man diese kleine Abweichung in der Praxis übersehen darf. Sei z. B. a g = 2000 Schritt, g h = 120 Fuß oder 50 Schritt, dann ist $a\,h = \sqrt{2000^2 + 50^2} = 2000$ Schritt; sei a b = 2500 Schritt, b c = 1000 Fuß oder 500 Schritt, dann ist a c = 2540, welches den größten Fehler zeigt, den wir überhaupt machen.

wir uns aber vorstellen dürfen, wegen der in Wirklichkeit verschwindend kleinen Verschiedenheit zwischen den Längen a b und a c sei die Bahn a e c genau ebenso wie a f b, so heißt das, die Bahn a f b kann, um den Winkel c a b aufwärts geschwenkt, betrachtet werden als ein Stück von a e d, weil a e c doch wirklich ein solches Stück ist.

Dieselbe Bahn a e d geht aber auch durch h, d. h. auch a e h ist ein Stück von a e d, und da a e h gleich einer Bahn bis g ist, so kann auch diese letztere als ein Stück von a e d betrachtet werden, wenn wir sie nämlich um den Terrainwinkel für h aufwärts drehen. Das anzuwendende Verfahren wollen wir an einigen Beispielen zeigen, und zwar zunächst für die Zeichnung einer Granatbahn des 24ℳers mit 4 ℳ auf 2000 Schritt. Die Aufgabe ist zunächst, zu finden, wie hoch müssen wir eine Bahn von 400 Schritt, wie hoch die von 800, 1200, 1600 Schritt schwenken, um sie in die Bahn von 2000 Schritt hinein zu bringen.

Wir finden in der Schußtafel (Seite 120)

Entfernung Schritt	Erhöhung Grad
400	1
800	2
1200	$3^1/_{16}$
1600	$4^2/_{16}$
2000	$5^5/_{16}$

Die den einzelnen Bahnen angehörigen Terrainwinkel sind also die Erhöhungsunterschiede von 2000 Schritt, also:

für 400 Schritt ist der Terrainwinkel $5^5/_{16} - 1 = 4^5/_{16}{}^0$
„ 800 do. $5^5/_{16} - 2 = 3^5/_{16}{}^0$
„ 1200 do. $5^5/_{16} - 3^1/_{16} = 2^4/_{16}{}^0$
„ 1600 do. $5^5/_{16} - 4^2/_{16} = 1^3/_{16}{}^0$

Diese kleinen Winkel sind aber sehr schwer richtig zu zeichnen; deshalb ist es einfacher, die Höhen zu berechnen, auf welche der Endpunkt jeder kleinen Bahn gehoben wird. Für diesen Zweck enthält die Schußtafel eine Winkeltabelle.

35. Die Winkeltabelle ist eine Tafel, aus welcher man

1) für gegebene Entfernungen bei jeder beliebigen Höhe eines Zielpunktes den zugehörigen Terrainwinkel ohne Rechnung ablesen kann.

   Natürlich kann man diese Aufgabe beliebig umkehren, d. h. aus der Winkeltabelle erhält man

2) für jede beliebige Entfernung und jeden beliebigen Terrainwinkel die Höhe des Zielpunktes über dem Horizonte,

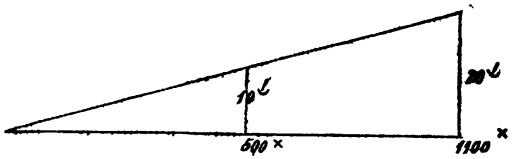
3) für jeden Terrainwinkel und jede Höhe des Zielpunktes die zugehörige Entfernung.

Beiſpiele:

1) Wie groß iſt der Terrainwinkel, wenn der Zielpunkt auf 1300 Schritt 10 Fuß über dem Horizonte liegt? Auf Seite 197 der Schußtafeln ſteht bei 130 Schritt für Fuß ein Winkel von $^3/_{16}$ Grad.

2) Wie hoch würde der Punkt liegen, wenn für 1100 Schritt der Terrainwinkel $2^4/_{16}{}^0$ beträge? Wir gehen auf Seite 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202. Hier iſt es mit 1100 Schritten zu Ende, aber einen Winkel von $2^4/_{16}{}^0$ finden wir nicht. Was heißt das? Der Punkt liegt höher als 50 Fuß — aber wie hoch denn? Da müſſen wir an die Aehnlichkeit der Dreiecke denken: Liegt ein Punkt auf 1100 Schritt 20 Fuß hoch, und ein anderer auf 550 Schritt 10 Fuß hoch, ſo haben beide denſelben Terrainwinkel, alſo umgekehrt, wenn beide denſelben Terrainwinkel haben, ſo muß der Punkt auf 1100 Schritt noch einmal ſo hoch liegen als der auf 550 Schritt (Fig. 19).

Fig. 19.



Oder iſt eine Entfernung dreimal, viermal ſo groß als eine andere, ſo liegt bei gleichem Terrainwinkel der weitere Punkt dreimal, viermal ſo hoch als der nähere. Alſo: Steht für eine gegebene Entfernung ein Winkel nicht in der Winkeltabelle, ſo ſucht man dieſen Winkel bei einer halb, oder drittel, oder viertel ſo großen Entfernung und multiplizirt die gefundene Höhe mit 2 oder 3 oder 4. In unſerm Beiſpiele finden wir auf Seite 188 für 550 Schritt erſt $2^4/_{16}$ Grad. Für die Praxis iſt man damit ſchon zufrieden, und da die Höhe 50 Fuß beträgt, ſo wird ſie für 1100 Schritt 100 Fuß ſein. Oder aus dem Wachſen der Winkel von Fuß zu Fuß ſieht man, daß $2^4/_{16}$ unter 51 Fuß ſtehen würde, man erhält alſo 102 Fuß. Oder: Steht bei der Hälfte der gegebenen Entfernung der beſtimmte Winkel noch nicht, ſo geht man auf ein Viertel der Entfernung. Wir finden dann Seite 170 bei 275 Schritt den Winkel $2^4/_{16}$ unter 26 Fuß und erhalten die geſuchte Höhe 4 . 26 = 104 Fuß. Der kleine Unterſchied zwiſchen 102 und 104 hat in der Praxis keinen Werth.

3) Einer Höhe von 25 Fuß entspricht ein Terrainwinkel von $1^{7}/_{16}$ Grad; wie groß ist die Entfernung? Seite 185 ist der größte Winkel für 25 Fuß $1^{3}/_{16}$ Grad; wir müssen also so lange rückwärts gehen bis wieder zu 25 Fuß auf Seite 178. Da steht aber dreimal $1^{7}/_{16}$ Grad. Nun da sagen wir, in der Praxis ist es ganz gleichgültig, ob eine Entfernung auf 410, 415 oder 420 Schritt geschätzt ist — wer es genauer will, muß zur Logarithmentafel greifen. Ist nun auch hier möglich, daß wir das Gesuchte nicht finden? So lange die Höhe unter 50 Fuß ist, stehen alle Winkel und alle Entfernungen bis 2000 Schritt in der Winkeltabelle. Hat man aber z. B. einen Winkel von 30 Grad und eine Höhe von 75 Fuß, so muß man statt 75 Fuß $^{1}/_{3}$ davon nehmen, also 25 Fuß. Dafür finden wir Seite 154 bei 15 Schritt den Winkel $34^{13}/_{16}$, bei 20 Schritt $27^{8}/_{16}$ Grad. 30 Grad liegt zwischen diesen Winkeln, also auch die zugehörige Entfernung zwischen 15 und 20 Schritt, etwa $17^{1}/_{2}$ Schritt. Die zu 75 Fuß gehörige Entfernung ist dann dreimal so groß, also $3 . 17^{1}/_{2} = 52^{1}/_{2}$ Schritt.

Wenn wir nun auf die Seiten kommen, wo z. B. auf 203 für ganze Reihen, also von 1520 bis 2000 Schritt derselbe Winkel steht? dann reicht freilich die Winkeltabelle für eine genaue Bestimmung nicht aus. Diese Frage hat aber nur Bedeutung bei der Bestimmung der bestrichenen Räume, worauf wir später kommen. Dann heißt es eben, die ganze Bahn liegt im bestrichenen Raum. Die Schuld dieser Ungenauigkeit trägt aber nicht die Winkeltabelle, sondern unser Quadrant, welcher nur $^{1}/_{16}$ Grad zeigt und verlangt.*)

Könnte man mit demselben sicher noch genauer messen, so würden auch die Winkeltabellen darnach eingerichtet sein, und dann könnten wir bald einen für uns vollkommen hinreichenden Distancemesser haben, wenn man die Zielhöhe kennte, z. B. die Mannshöhe bestimmt zu 6 Fuß annähme.

36. Wir wollen jetzt unsere Flugbahnen zeichnen.

Entfernung. — Schritt	Terrainwinkel. — Grad	Gefundene Höhe. — Fuß.
400	$4^{5}/_{16}$	72
800	$3^{5}/_{16}$	112
1200	$2^{4}/_{16}$	114
1600	$1^{3}/_{16}$	79.

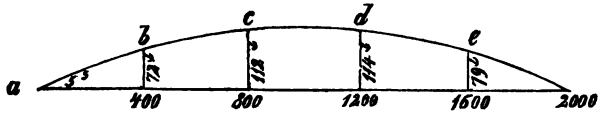
Die Höhen sind sämmtlich schon über 50 Fuß; sie stehen also

*) Die Eintheilung der Libelle gestattet noch kleinere Abstufungen; dafür ist das Instrument jedoch nicht vollkommen genug.

nicht mehr in unserer Winkeltabelle, sondern sind gefunden aus resp. 200, 400, 800 Schritt.

Zeichnen wir nun die Linie (Figur 20) a bis 2000 Schritt, setzen in den Punkten 400, 800, 1200, 1600 die gefundenen Höhen senkrecht ab und verbinden die Punkte a, b, c, d, e, 2000 durch

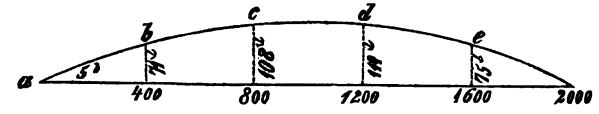
Fig. 20.



eine krumme Linie, so ist diese ein Bild der Flugbahn der 24 ℔gen Granate mit 4 ℔ auf 2000 Schritt. Die folgende Figur 21. giebt die Bahn der 12 ℔gen Granate mit 2,1 ℔ auf 200 Schritt.

Entfernung. Schritt.	Erhöhung. Grad.	Terrainwinkel. Grad.	Höhe des Bahnpunktes. Fuß.
400	$^{15}/_{16}$	$4^{4}/_{16}$	71
800	$1^{15}/_{16}$	$3^{4}/_{16}$	108
1200	3	$2^{3}/_{16}$	111
1600	$4^{1}/_{16}$	$1^{2}/_{16}$	75
2000	$5^{3}/_{16}$	0	0

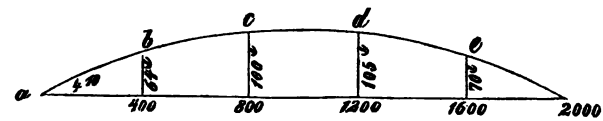
Fig. 21.



Die folgende Figur 22. zeigt die Bahn der 6 ℔gen Granate mit 1,2 ℔ auf 2000 Schritt.

Entfernung. Schritt.	Erhöhung. Grad.	Terrainwinkel. Grad.	Höhe des Bahnpunktes. Fuß.
400	$^{13}/_{16}$	$3^{13}/_{16}$	64
800	$1^{10}/_{16}$	3	100
1200	$2^{9}/_{16}$	$2^{1}/_{16}$	105
1600	$3^{9}/_{16}$	$1^{1}/_{16}$	70
2000	$4^{10}/_{16}$	0	0.

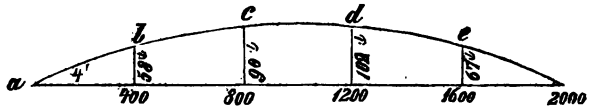
Fig. 22.



Die folgende Figur 23. zeigt die Bahn der 4Ägen Granate mit 1Æ auf 2000 Schritt.

Entfernung. Schritt.	Erhöhung. Grad.	Terrainwinkel. Grad.	Höhe des Bahnpunktes. Fuß.
400	$^{10}/_{16}$	$3^{7}/_{16}$	58
800	$1^{6}/_{16}$	$2^{11}/_{16}$	90
1200	$2^{2}/_{16}$	$1^{15}/_{16}$	102
1600	$3^{1}/_{16}$	1	67
2000	$4^{1}/_{16}$	0	0.

Fig. 23.



Weiter unten werden wir eine noch bequemere Manier, Flugbahnen zu zeichnen, vorführen.

e. Eine wichtige Vorstellung von den Flugbahnen aus gezogenen Geschützen.

38. Man kann unmöglich in einer so kleinen Figur die Bahnen in Bezug auf Längen und Höhen im richtigen Maßstabe zeichnen.

Da fragt sich nun, ob denn ein solches Bild überhaupt noch Werth hat? Allerdings hat es denselben Werth, als ein nach den wirklichen Verhältnissen gezeichnetes, denn wir werden sehen, wie es uns über alle praktischen Fragen unterrichtet. Zuerst wird man aber fragen, ob dieses Verfahren überhaupt richtig ist — ob es nicht ein Mittel giebt, diese Richtigkeit zu prüfen? Es hat doch offenbar Niemand den Horizont anders als in der Phantasie hoch geschwenkt.

Ein solches Mittel bieten die sogenannten ballistischen Rechnungen, welche die Bahnen ganz allein aus der Anfangsgeschwindigkeit, der Elevation, der Schwerkraft und dem Luftwiderstande ableiten.

Wenn beide Arten der Flugbahnbestimmung gleiche Werthe ergeben, so müssen beide als richtig betrachtet werden. In der Ballistik der gezogenen Geschütze hat der Verfasser zwei Bahnen gezeichnet, eine für den 24Æer auf 2000 Schritt, die andere für den 6Æer. Man erkennt dort, daß der höchste Punkt der 24Æer Bahn bei 1027 Schritt auf 115,7 Fuß liegt in der 6Æer Bahn bei 1052 Schritt auf 105,6 Fuß. Nach der Schußtafel und Winkeltabelle erhalten

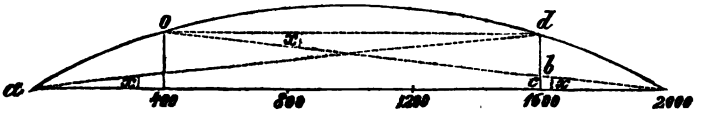
wir für den 24Ller bei 1027 Schritt 115,5 Fuß, für den 6Ller bei 1052 Schritt 106½ Fuß.

Wir haben also allen Grund, die gezeigte außerordentlich einfache Manier für richtig zu halten.

Sie läßt noch sehr wichtige Schlüsse zu, von denen der folgende die einfachste und für die Artillerie-Praxis wichtigste Anschauung giebt.

39. Wir dürfen nämlich die Bahn unserer gezogenen Geschosse sehr nahe richtig als einen **Kreisbogen** betrachten.

Fig. 24.



Man erinnere sich des Satzes aus der Geometrie: Im Kreise gehören zu gleichen Bogen gleiche Peripherie-Winkel.

Wenn unsre Behauptung nun wahr sein soll, so muß (Fig. 24.) der Winkel x bei o gleich sein dem Winkel x bei a, d. h. die Höhe c d über dem Punkte 1600 Schritt muß sich auch berechnen lassen, wenn wir für b die Entfernung 1200 Schritt setzen, daraus b d berechnen und das Stück b c aus 400 Schritt (2000—1600) und ebenfalls dem Winkel x, da o d in unserem Falle sehr nahe zu der Grundlinie parallel sein wird, und da Wechselwinkel zwischen Parallelen gleich sind. Für den 24Ller war x (der Elevationsunterschied zwischen 1600 und 2000 Schritt) $1^3/_{16}$ Grad. Die Winkeltabelle giebt für diesen Winkel und 1200 Schritt b d = 60 Fuß, für denselben Winkel und 400 Schritt c b = 20 Fuß, also c d = 60 + 20 = 80 Fuß, wogegen wir in der Figur 79 Fuß gefunden haben. Beim 12Ller war $x = 1^2/_{16}$ Grad, dann finden wir b d = 56, b c = 19, also c d = 75 Fuß, ebenso in der Figur 75 Fuß. Beim 6Ller war $x = 1^1/_{16}$ Grad, dann ist b d = 53, b c = 18, also c d = 71 Fuß, in der Figur 70 Fuß.

Beim 4Ller war x = 1 Grad, dann ist b d = 50, b c = 17 also c d = 67 Fuß, in der Figur 67 Fuß.

Diese Gleichheit der Winkel ist nur im Kreise möglich, und in der That auch das Zusammenfallen der Bahnstücke nur in einer Kreislinie möglich. Da diese Ansicht des Zusammenfallens nun sehr gute Resultate giebt, so ist auch unsere Behauptung richtig, nämlich

nicht, daß die Flugbahn eine Kreislinie ist, sondern daß man sich ein Stück Kreislinie denken darf, welches sehr nahe die Flugbahn ersetzt.

Zweites Kapitel.

Von den gezogenen Geschützen und ihren Flugbahnen.

A. Die Wirkung des Pulvergases in den gezogenen Hinterladungsgeschützen.*)

a. Die Anfangsgeschwindigkeiten.

40. Es wird hier bezweckt, einen Blick zu werfen in das Innere des Rohres während der Bewegung des Geschosses durch die Züge desselben, und zwar in Bezug auf das allmälige Wachsen der Geschwindigkeiten sowohl, als auf den Druck, welchem im Allgemeinen unsere Röhre zu widerstehen haben. Schon zu Anfang ist darauf hingewiesen, daß wir uns der Annahme zuneigen, in den Hinterladungsröhren habe in Folge des großen Hindernisses, welchen das Geschoß im Uebergangskonus findet, das Pulver Zeit genug, während der ersten Bewegung des Geschosses vollständig zu verbrennen. Es geht auch aus der Konstruktion der Röhre hervor, daß wir bei Hinterladungsgeschützen in Bezug auf die Anfangsgeschwindigkeit nie von zu großen Ladungen sprechen können, denn es handelt sich für die wirklich angewendeten Ladungen immer nur um solche, welche kleiner sind, als die für den Verbrennungsraum größtmöglichen. Sind die Ladungen wirklich während der ersten Bewegung des Geschosses verbrannt, so haben wir natürlich kein Nachbrennen des Pulvers, und das Geschoß erhält seine Zuschüsse an Geschwindigkeit durch die, allerdings immer schwächer werdende Spannkraft einer und derselben Gasmenge durch die ganze Länge des Rohres. Die Spannkraft des Pulvers ist ähnlich wie die Schwerkraft eine fortwährend wirkende; sie ist also kein Stoß. Sie wächst freilich von ganz klein an fast urplötzlich zu ungeheurer Größe, aber das geschieht doch eben nach und nach. Dann verschwindet sie nicht plötzlich, sondern verringert sich nach

*) Man wolle „Versuch über die Elemente der inneren Ballistik“ vergleichen. Berlin 1866, und 59. Band des Archivs.

und nach, behält aber in jedem Momente noch die Kraft, dem Geſchoſſe einen kleinen Zuwachs an Geſchwindigkeit zu geben. Dieſe Zuwachſe werden immer geringer, ſie finden aber wirklich ſtatt — aus dieſem Grunde müſſen wir ſagen:

41. Ein gezogenes Hinterladungsgeſchütz kann für den Gewinn an Anfangsgeſchwindigkeit nie zu lang ſein. Das Geſchoß hat gegen die Reibung und gegen den Widerſtand der Felder zu kämpfen; dieſe ſind aber nicht ſo groß, als in den vorderen Theilen der längſten Röhre die treibende Kraft noch iſt, deshalb ſagen wir:

Es iſt techniſch unmöglich, ein Rohr von der Länge herzuſtellen, aus welchem ein Geſchoß bei gleicher Ladung mit geringerer Geſchwindigkeit gehen würde als aus einem kürzeren Rohre. Es könnte dies leicht Anſtoß erregen, wenn man an ganz kleine Ladungen denkt — bei dieſen iſt allerdings möglich, daß der Gasverluſt durch das Zündloch die Kraft in höherem Grade ſchwächt, als die Abnahme der Spannungen in der Seele bedingt. Wäre das Zündloch geſchloſſen, ſo ſcheint es uns, daß unſere Behauptung richtig iſt, oder die Ladung iſt gar nicht im Stande, das Geſchoß durch den Uebergangskonus zu bringen.

Eine viel wichtigere Frage iſt die, ob es praktiſch von Werth iſt, die Geſchützröhre übermäßig lang zu machen? Wir wollen von der Schwierigkeit der Herſtellung und der Handhabung, von dem Einfluſſe auf die Trefffähigkeit gar nicht ſprechen, ſondern nur unterſuchen, ob eine größere Länge des Rohres wirklich für die Anfangsgeſchwindigkeit von bedeutendem Gewinne ſei.

42. Wir ſind im Stande, für das Wachſen der Geſchwindigkeiten im Rohre ein beſtimmtes Zahlengeſetz aufzuſtellen, und zwar iſt es am einfachſten für Kanonen, d. h. für Röhre von bedeutender Länge:

Wenn Röhre gleichen Kalibers ſich nur durch die Länge des gezogenen Theiles unterſcheiden, alſo gleichen Ladungsraum haben, ſo verhalten ſich die Anfangsgeſchwindigkeiten wie die Längen der Züge und umgekehrt wie die Längen der ganzen Seelen. Als beweiſendes Beiſpiel bieten ſich der eiſerne 12Ker und der aptirte bronzene. In abgerundeten Zahlen iſt bei erſterem die Länge der Züge 82 Zoll, bei letzterem 58 Zoll, die Länge der ganzen Seele bezüglich $94\frac{1}{2}$ und $70\frac{1}{2}$ Zoll. Nach der Geſchwindigkeitstabelle der Schußtafeln iſt für 2,1 K die Geſchwindigkeit aus dem bronzenen 12Ker 904 Fuß.

Wir haben also für den eisernen zu rechnen

$$\frac{58}{70^1/_2} : \frac{82}{94^1/_2} = 904 : x \text{ und finden } x = 951 \text{ Fuß,}$$

während die Tabelle des eisernen 12 ℔ers 950 Fuß giebt. Hiernach wollen wir den Geschwindigkeits-Gewinn suchen, wenn das Rohr noch 20 Zoll resp. 30 Zoll länger würde. Wir finden

$$1)\ \frac{58}{70^1/_2} : \frac{82 + 20}{94^1/_2 + 20} = 904 : x, \text{ oder } x = 979 \text{ Fuß,}$$

$$2)\ \frac{58}{70^1/_2} : \frac{82 + 30}{94^1/_2 + 30} = 904 : x, \text{ oder } x = 987 \text{ Fuß.}$$

Während wir also von 58 bis 82 Zoll 47 Fuß, von 82 bis 102 Zoll 28 Fuß gewinnen, so giebt die Verlängerung der Züge von 102 auf 112 Zoll nur noch eine Vergrößerung von 8 Fuß. Rücksichtigen wir jetzt auf die mit der Verlängerung des Rohres verbundenen Unbequemlichkeiten, so wird man sich hüten, diese mit in den Kauf zu nehmen.

43. Die Länge des Ladungsraumes kann nicht gleichgiltig sein, und die Form der eben gegebenen Beziehung zeigt, daß die Verlängerung des Ladungsraumes eine Verringerung der Anfangsgeschwindigkeit bewirkt. Der Raum ist dann freilich geeignet, eine größere Ladung aufzunehmen, und es ist dann möglich, daß auch der größere Ladungsraum eine größere Geschwindigkeit giebt.

Beispiel: Der bronzene 24 ℔er und der eiserne Marine-24 ℔er von 70 Centner schießen mit 6 ℔; der Ladungsraum des letzteren ist etwas verlängert, und die thatsächliche Folge ist, daß er mit 6 ℔ Ladung nicht mehr Geschwindigkeit giebt als der bronzene 24 ℔er mit 5,4 ℔; dafür kann er aber 7 bis $7^1/_2$ ℔ aufnehmen und giebt dann mehr Geschwindigkeit. Aus diesem Beispiele ergiebt sich, daß von zwei Röhren gleichen Kalibers und von gleicher Länge das eine mit einer Ladung eine größere Geschwindigkeit geben kann als das andere mit einer größeren Ladung. Der bronzene 24 ℔er leistet offenbar mit $5^3/_4$ ℔ mehr als der andere mit 6 ℔.

Im Allgemeinen wird bei kammervollen Ladungen das Rohr mit längerem Ladungsraum mehr Geschwindigkeit geben; aber dies ist nur bis zu einer gewissen Grenze richtig, weil der Fall eintreten kann, daß der gezogene Theil zu kurz wird, um die Spannung der Pulvergase genügend auszunutzen. Es wäre doch Verschwendung, Kräfte von etwa 500 bis 600 Atmosphären entweichen zu lassen. Es ist dies also ein Beispiel dafür, daß immer größer werdende Ladungen die Geschwindigkeiten verkleinern

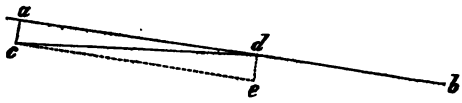
können, wenn nämlich der Ladungsraum gleichzeitig wächst.

Wird das nicht widerlegt durch die Anwendung verlängerter Kartuschen in glatten Röhren? Nein — die verlängerten Kartuschen haben Zeit, besser zu verbrennen als die kurzen, denn während diese bei der Gasentwickelung die Kugel fortschleudern, haben jene erst den größeren Raum mit Gas zu füllen, bei ihnen ist die erste Bewegung der Kugel eine langsamere.

Diese Sätze zeigen auch, daß es für jede Rohrlänge einen günstigsten Ladungsraum mit einer größten Ladung geben muß.

44. Was den Drall der Züge betrifft, so hängt von dem Winkel, welchen seine Richtung mit der Richtung der Seelenachse bildet, auch die Größe der Anfangsgeschwindigkeit ab. Der Drall unserer bestehenden Röhre ist aber so wenig gekrümmt, und andererseits ist die Verschiedenheit bei den einzelnen Kalibern so gering, daß der Einfluß auf die fortschreitende Geschwindigkeit des Geschosses sich nicht erkennbar äußert. Anders ist es allerdings mit der Umdrehungsgeschwindigkeit, denn diese ist bei kleinen Unterschieden der Drallwinkel in demselben Grade verschieden, als die Winkel selbst. Bezeichne nämlich (Fig. 25) a b die Richtung eines Feldes, c d

Fig. 25.



die der Seelenachse, ist also Winkel a d e der Drallwinkel, so muß man die Geschwindigkeit in der Richtung der Seelenachse in zwei andere zerlegt denken, in a d als Richtung des Vorwärtsgleitens und senkrecht dazu d e, als denjenigen Antheil, welcher das Geschoß zur Rotation zwingt. Es ist dann bis zu Winkeln von 5 Grad die Linie c d sehr wenig verschieden von c d, während d e in dem Verhältniß wächst oder abnimmt, in welchem die Drallwinkel selbst sich ändern.

45. Die eben besprochenen Rücksichten finden ihre Geltung bei der Konstruktion neuer Geschützröhre; bei den im Gebrauche befindlichen interessirt uns der Einfluß der Größe der Ladungen und der Gewichte der Geschosse. Hier zeigt die Wissenschaft wie die Erfahrung zwei sehr einfache Sätze:

1) Die Anfangsgeschwindigkeiten verhalten sich wie

Beantwortung dieser Frage hängt von mehreren Umständen ab, auf welche wir nach der Besprechung der Flugbahnen zurückkommen wollen, hier kümmert uns nur das auf die Geschoßgeschwindigkeiten Bezügliche. Es ist ja außer Zweifel, daß nicht der Mörser die Wurfbahn macht, sondern die Elevation und die Geschwindigkeit sind zunächst die bestimmenden Elemente, und dann in zweiter Linie fragt es sich, ob ein so kurzes Rohr, welchem man bequem große Elevationen geben kann:

1) ohne zu große Ladungen bedeutende Geschwindigkeiten erreichen läßt, und
2) ob es fähig ist, durch Aenderung der Ladung leichte und scharfe Veränderungen der Anfangsgeschwindigkeiten zuzulassen?

Für die erste Frage wollen wir in der folgenden Tafel ein Bild von dem Wachsen der Geschwindigkeiten unserer Granaten im Rohre und zwar in dem gezogenen Theile desselben geben.

In den Zügen zurückgelegter Weg. Zoll.	Geschwindigkeit der Granate.		
	24 ℔er 4 ℔ Ladung. Fuß.	12 ℔er 2,1 ℔ Ladung. Fuß.	6 ℔er 1,2 ℔ Ladung. Fuß.
0	238	237	264
30	776	823	960
60	892	922	1060
90	945	970	—

Unter 0 Zoll in den Zügen verstehen wir den Ort, wo der Boden des Geschosses eben in den gezogenen Cylinder tritt.

Wir sehen, daß die Geschwindigkeiten im hinteren Theile der Seele sehr schnell wachsen, daß wir also für hinreichende Geschwindigkeiten das Rohr bedeutend verkürzen dürfen, und daß dies noch mehr geschehen darf, wenn wir durch Herabsetzung der Maximalladung den Ladungsraum noch verkürzen. Dadurch geben Ladungen mehr Kraft als in dem langen Rohre, und da aus diesem letzteren die Ladung von 0,5 ℔ noch gute Schießresultate giebt, so wird ein Mörser dessen größte Ladung etwa 3 ℔ ist, seine Ladungen von 3 ℔ bis etwa 0,3 ℔ wechseln lassen können, wodurch auch die zweite günstig beantwortet wird.

b. Ueber die Spannungen der Pulvergase.

49. Hieran knüpfen wir einige Sätze über die Verhältnisse, unter welchen sich der Druck der Pulvergase auf die Wandungen

der Seele äußert. Es sind wesentlich zwei Elemente, welche neben der Größe der Ladungen die Höhe der Gasspannungen bedingen: Die Schnelligkeit der Entwickelung und die Größe des einschließenden Raumes. Mit diesen beiden stehen in Verbindung die Größe des Geschoßwiderstandes und die Erhaltung oder das Schwinden der Temperatur. Die Verbrennung jedes Treibmittels geschieht in einer gewissen Zeit; so klein diese auch sein mag, so giebt es in ihr Unterschiede; z. B. eine Masse Schießwolle verbrennt schneller als eine eben so große Masse Pulver, und eine kleine Ladung verbrennt schneller als eine große. Die erste Gasentwickelung setzt schon das Geschoß in Bewegung, denn sehr kleine Ladungen geben dem Geschosse schon bedeutende Geschwindigkeiten.

Die größere Ladung hat also für ihre Auflösung schon einen größeren Raum, daraus folgt, daß in Geschützröhren die höchst mögliche Kraft des Pulvergases gar nicht zur Wirkung kommt, wie dies in sehr starken Hohlgeschossen der Fall sein kann. Die Spannung wird aber um so höher sein, je weniger weit das Geschoß während der Brennzeit vorgerückt ist, d. h. je schneller die Verbrennung stattfindet und je größer der Widerstand ist. In Vorderladungsröhren ist wegen des Spielraumes der Widerstand des Geschosses so gering, daß schon während der Verbrennung der Ladung das Geschoß bis zur Mündung und hinaus getrieben ist.

In Hinterladungsröhren ist der Widerstand beim Eindringen der Felder in den Bleimantel so groß, daß dieser noch nicht überwunden ist, wenn schon die ganze Ladung sich in Gas verwandelt hat. In Vorderladern tritt während der Geschoßbewegung also fortwährend neues Gas hinzu, und zwar in einem um so kürzeren Raume, je schwerer das Geschoß; deshalb ist hier die Spannung der Gase außer von der Größe der Ladung abhängig von der Schwere des Geschosses. Ist aber in Hinterladern das Pulver einmal verbrannt, so kann kein neues Gas hinzutreten; das Gas ist hier zuerst viel enger eingeschlossen als in Vorderladern, sein Druck ist also viel größer als in diesen.*)

Dies ist der Grund für die Thatsache, daß Hinterlader von Pulvermassen gesprengt werden können, an deren Zerstörungskraft man bei Vorderladern gar nicht denkt. Es folgt auch, daß Vorderlader durch ein zufälliges Festklemmen des Geschosses gesprengt werden können, daß dies aber bei Hinterladern, wenn die Ladung

*) Bei 4 ℔ Ladung oder der mittleren Geschwindigkeit von 232 Fuß wächst der Widerstand der 24℔er Granate auf 456055 ℔. (Innere Ballistik Seite 57.)

einmal verbrannt ist, gar nicht vorkommen kann, und es folgt, daß das Gewicht des Geschosses in Hinterladern für die Höhe der Spannung ganz gleichgültig ist. Anders ist es freilich mit der Wirkung der Spannungen. Um ein Rohr zu sprengen, wird offenbar eine Zeit verlangt, und geschieht eine Sprengung in Folge der Anwendung von Vollgeschossen, so liegt der Grund in der längeren Zeit, während welcher das Rohr einer gewissen Spannung ausgesetzt war. Man denke zwischen zwei Körpern eine gespannte Feder, so wird die Spannung nicht erhöht, ob die Körper dem Drucke längere Zeit ausgesetzt sind, aber die Körper werden durch die Feder mehr, weil länger leiden. Denke man, der eine Körper werde durch die Feder vorwärts geschoben z. B. einen Zoll weit, so wird die Feder in diesem Momente nicht weniger gespannt sein, als wenn der Körper doppelt so schwer und auch einen Zoll weit geschoben war.

Aber der festliegende Körper hat den höhern Druck länger ertragen, wenn der bewegliche schwerer war. So haben wir uns die Wirkungen der Spannungen der Pulvergase vorzustellen. Wäre das Metall eines Rohres absolut fest, dann würde der Druck der Gase während jeder beliebigen Zeit eine und dieselbe Wirkung äußern. Das Metall ist aber ein elastisches; es bedarf einer gewissen Zeit, um es bis zu seiner Elasticitätsgrenze auszudehnen. Durch die Vorwärtsbewegung des Geschosses sinkt sofort die Gasspannung; hat das Geschoß nun eine solche Geschwindigkeit, daß die Zeit der hohen Grade der Gasspannung nicht hinreicht für die Ueberschreitung der Elasticitätsgrenze des Metalles, so kann das Rohr nicht springen.

Die Geschwindigkeitsunterschiede sind für Voll- und Hohlgeschosse in Hinterladern sehr gering; deshalb erkennt man, daß für die Haltbarkeit der Geschützröhre die größte Genauigkeit der Geschoßdurchmesser und die Vermeidung zu enger Züge von größerer Bedeutung ist, als die Schwere der Vorlage.

Die Höhe der Gasspannung wird bedingt durch die Masse Gas, welche in einem bestimmten Raume enthalten ist. Offenbar giebt eine doppelte Pulvermenge auch eine doppelte Gasmenge, und deshalb verhalten sich die Spannungen wie die Gewichte der Ladungen.

Das ist aber nur so lange der Fall, als die Raumverhältnisse dieselben sind; es ist also sehr gut denkbar, daß ein Rohr wegen seines größeren Verbrennungsraumes von einer größeren Ladung weniger zu ertragen habe, als ein anderes, so genau, wie auch die Geschoßgeschwindigkeit eine geringere sein kann trotz einer größeren Ladung. Die Spannungen stehen aber nicht etwa im umgekehrten

Verhältniſſe der freien Räume, denn wie die Kraft des Dampfes, ſo ſteigt auch die des Pulvergaſes mit ſeiner Temperatur. Denkt man ſich nun ein mit höchſter Schnelligkeit verbrennendes Pulver, ſo ſteigt ſeine Temperatur und ſomit ſeine Kraft ſchneller als die eines langſam verbrennenden. Durch das Fortſchreiten des Geſchoſſes kommt das Gas an immer neue kalte Wandſtellen und verliert dadurch an Temperatur und Kraft. Es folgt nun, daß die Gasſpannungen gegen die Mündung hin viel ſchneller abnehmen als die freien Räume wachſen, und daß die Gaſe von höherer Temperatur ſchneller an Spannung verlieren als andere von weniger hohen Hitzegraden. Aus dem Erſteren erklärt ſich, daß gegen die Mündung die Geſchoſſe nur ſehr langſam an Geſchwindigkeit gewinnen, aus dem Zweiten folgt, daß die ſehr ſchnell verbrennenden Pulver z. B. Schießwolle, Schulze'ſches Pulver und ſogenannte Knallpräparate noch geringere Geſchwindigkeitszuſchüſſe in den vorderen Theil des Rohres geben und folglich, um dennoch gleiche Schußweiten erreichen zu laſſen, die hinteren Rohrtheile in viel höherem Grade angreifen.

50. Hierin liegt auch der Grund für die Verſuche mit ſogenanntem prismatiſchen und Barytpulver. Erſteres beſteht aus gepreßten Cylindern, welche neben einander gelagert, oder auch zu einem Körper vereinigt, dann aber mehrfach durchbohrt werden; letzteres enthält einen geringen Zuſatz von Baryt. Beide Einrichtungen bezwecken ein langſameres Verbrennen, ein Uebertragen des größeren Geſchwindigkeitszuwachſes in die vorderen Rohrtheile, alſo eine Entlaſtung der Umgebung des Ladungsraumes. Durch folgende Vorſtellung wird man erſehen, wie die wirklichen Erfolge zu erkennen ſind.

Denken wir uns einen 24 ℔er mit normaler Zuglänge von nahe 90 Zoll, einen anderen auf 30 Zoll Zuglänge abgeſchnitten. Aus dem erſten Rohre wurde mit z. B. 8 Grad und 4 ℔ unſeres Pulvers eine Schußweite von 2800 Schritt erreicht. Dann iſt durch wenige Schüſſe feſtzuſtellen, welche Ladung des neuen Schießmittels dieſen 4 ℔ entſpricht.

Schießt man aus dem kurzen Rohre mit denſelben Ladungen und unter denſelben Elevationen, ſo iſt möglich,

1) daß gleiche Schußweiten erreicht werden,
2) daß die Schußweite des normalen Pulvers größer als die des andern iſt, oder
3) daß das Umgekehrte ſtattfindet.

Im erſten Falle ſind beide Pulverſorten gleich, im zweiten Falle iſt die erſte Wirkung unſers Pulvers ſtärker, dagegen die Geſchwindigkeit aus dem längeren Rohre nicht größer als von dem

andern Schießmittel, folglich greift es ohne Vortheil für das Geschoß das Rohr mehr an als dieses; im dritten Falle greift das neue Mittel das Rohr mehr an. Für diese Zwecke sind in allen Ländern Versuche begonnen, und zwar stammt das prismatische Pulver aus Nordamerika, das Barytpulver aus Belgien.

51. Folgende Tabelle zeigt wie groß die Gasspannungen*) sind, wenn die 24 ℔ge Granate bei 4 und 6 ℔ Ladung sich mit ihrem Boden an den durch Zolle bezeichneten Stellen im Rohre befindet.

Zoll in den Zügen:	Spannungen in Atmosphären pro Quadratzoll.	
	4 ℔ Ladung.	6 ℔ Ladung.
0— 5	1175	1845
5—10	1065	1685
10—15	880	1425
15—30	680	1090
20—30	515	790
30—40	378	565
40—50	280	425
50—60	210	328
60—70	164	260
70—80	130	210
80—90	108	170

Das Maß für die Gasspannungen ist der Druck einer Atmosphäre (14 Zoll-Pfund) auf einen Quadratzoll Fläche. Im Innern der ganzen Masse ist die Dichtigkeit in solchen Röhren, welche proportional gebaut sind, und für proportionale Ladungen gleich, d. h. für solche, welche den Räumen in gleichem Verhältnisse entsprechen. Sehr verschieden ist aber die Wirkung auf das Rohrmetall.

Die Flächen der Seelenwandungen verhalten sich in verschiedenen Röhren, wie die Quadrate der Durchmesser. Wenn also die Atmosphärenzahlen auch gleich sind, so findet man doch z. B. das Verhältniß der Drucke auf den Verschluß bei proportionalen Ladungen

4℔er	6℔er	12℔er	24℔er	72℔er
$3{,}16^2$	$3{,}66^2$	$4{,}78^2$	$5{,}90^2$	$8{,}30^2$
1	1,34	2,28	3,48	6,89

d. h. hatte der 4℔er bei einer Ladung z. B. 1500 Atmosphären

*) Die absolute Kraft des Pulvers in seinem eigenen Raume ist ungefähr 4500 Atmosphären; die von Piobert (Cours d'Artillerie) gegebenen Zahlen werden jetzt allgemein für nicht zutreffend gehalten.

auf den Quadratzoll zu ertragen, also $3{,}16^2\,\pi \,.\, 1500 \,.\, 14 = 164850$ Pfund für den Querschnitt, so würde der 72 ℄er bei entsprechender Ladung 1,135776 Pfund aushalten müssen.

Solche entsprechenden Ladungen würden etwa 1 ℄ und $18\frac{1}{2}$ ℄ sein. Man erkennt auch leicht, daß durch die Einführung der Kupferliderungen, welche in dem Verschlusse liegen, die Angriffsfläche des Verschlusses vergrößert wird, und daß der Verschluß also einem höheren Drucke ausgesetzt ist.

Die Benutzung solcher Verhältnisse ist Sache der Geschützkonstrukteure.

B. Von den Schußtafeln der gezogenen Geschütze.

a. Die Fertigung der Schußtafeln.

52. Bevor wir zu der speziellen Betrachtung der Flugbahnen übergehen, wollen wir die Fertigung der Schußtafeln besprechen.

Die Schußtafeln geben das vollständige Bild der Eigenthümlichkeiten der Geschütze. Da diese Arbeit den Zweck hat, zu zeigen, wie man Schußtafeln lesen kann, um jede Aufklärung aus ihnen zu holen, ohne schwierige und weitläufige Rechnungen auszuführen, so ist die Vorausschickung dieses Abschnittes nothwendig, um so mehr als es von Bedeutung ist, zu sehen, daß die Schußtafeln ohne jedes Hinzufügen irgend einer nicht gerechtfertigten Ansicht oder Willkür entstanden sind.

Wir setzen dabei voraus, daß die durch Herrn Major Rördansz mitgetheilte graphische Methode der Ballistik hinreichend bekannt ist.

Uebrigens gründet sich das rein Mechanische dieser Methode ja nur darauf, daß man annimmt: Alle Naturerscheinungen unterliegen unwandelbaren Gesetzen — und wo ein Gesetz sich augenscheinlich als Zahl oder Linie darstellen läßt, hat man das Recht, diese Zahl oder Linie auch als den Ausdruck des Gesetzes anzuerkennen. Das Historische der Entstehung unserer Schußtafeln dürfte auch den Nutzen mit sich führen, daß es helfen könnte, sie nicht als den Ausfluß besonderer Gelehrsamkeit, sondern als das wirkliche Bild wirklicher Schießversuche anzusehen. Die Versuche kamen für den im Jahre 1865 erschienenen Theil im Juli 1861 während der günstigsten Sommerzeit zur Ausführung durch Herrn Major Willerding.

Damals bestanden unsere gezogenen Geschütze in dem eisernen 24 ℄er, dem eisernen und bronzenen 12 ℄er, dem eisernen und gußstählernen 6 ℄er mit Kolbenverschluß. Diese beiden letzteren Geschütze sind im Innern genau kongruent und sonst nur verschie-

den durch die Länge der Visirlinie. Während der Ausführung der Versuche theils, oder während der Bearbeitung der Schußtafeln traten der eiserne 24 ℔er mit Keilverschluß, der aptirte bronzene 24 ℔er und der eiserne 6 ℔er mit Keilverschluß hinzu und zuletzt auch der neu gefertigte bronzene 12 ℔er. Diese Geschütze sind denen älterer Konstruktion aber innerlich gleich bis auf die Gestaltung der Züge, welche in den neuern Geschützröhren bekanntlich die Keilform haben, während sie sonst in sich parallel geschnitten waren. Die Veränderung der Zugform hat keinen erkennbaren Einfluß auf die Anfangsgeschwindigkeiten geäußert, vielleicht aber einen größeren und günstigeren auf die Trefffähigkeit. Die Aufgabe war, nach einem bestimmt entworfenen Schema das ausreichende Material für die Herstellung von Schußtafeln für den direkten Schuß mit der großen Gebrauchsladung und für den indirekten Schuß mit jeder erforderlichen Ladung zu schaffen. Die großen Gebrauchsladungen sind für den 24 ℔er 4 ℔, die 12 ℔er 2,1 ℔ und die 6 ℔er 1,2 ℔.

Mittlerweile sind wieder neue Konstruktionen eingeführt und mit ihnen neue Ladungen, zunächst der bronzene 24 ℔er vom Jahre 1864 und der gußstählerne 24 ℔er, dann der gußstählerne 6 ℔er mit Keilverschluß vom Jahre 1864 und der mit diesem zum Feldgebrauch bestimmte 4 ℔er, endlich der 72 ℔er und 36 ℔er der Marine. Die beiden 24 ℔er sind den älteren innerlich gleich, gestatten aber durch ihre Stärkeverhältnisse eine Ladungssteigerung bis zu 6 ℔ und bekommen dem entsprechend noch Schußtafeln für 6 ℔, 5,5 ℔, 5 ℔ und 4,5 ℔, welche letztere die in unsern Schußtafeln enthaltene für 4,5 ℔ ersetzen soll, weil diese nicht auf hinreichend sicherer Grundlage ruht. Die Gebrauchsladung des neuen 6 ℔ers ist 1,4 ℔; er ist abweichend konstruirt und verlangte deshalb für alle Ladungen eine neue Ermittelung von Schußtafeln, ebenso wie der 4 ℔er. Die Granaten sind bisher unverändert geblieben; dagegen sind alle bisher verwendeten Shrapnels durch andere ersetzt. Auch sie erfordern neue Schußtafeln, welche mit allen anderen eben genannten den Supplementband zu den Schußtafeln ausmachen, auf welche wir diese Betrachtungen stützen.

Für die großen Gebrauchsladungen unserer bisherigen Geschütze entsprechen 500 Schritt ungefähr der durch die Laffete gegebenen Elevationsgrenze, während für die beiden neuen 24 ℔er die Schußweiten bis 6000 resp. 7500 Schritt geführt sind.

Die graphische Methode der Ballistik verlangt bekanntlich für eine Schußtafel eine Anzahl von ermittelten Versuchsresultaten, welche sie durch eine stetige, durch das Auge leicht kontrolirte Kurve ver-

bindet.*) Man schoß nun mit der großen Ladung aus jedem Geschütz auf 600, 1200, 1800, etwa 2500, 3200, 4000 und 5000 Schritt und zwar bei den 3 ersten Entfernungen nach Scheiben, auf den anderen Entfernungen mit einer jedesmal im Voraus geschätzten unveränderlichen Elevation nach der freien Ebene. Gegen die Scheibe verwendete man, außer den Probeschüssen, je 15 Schuß mit unveränderter Richtung, nach der freien Ebene je 20 Schuß — hier die größere Zahl, weil mit der Entfernung die störenden Einflüsse wachsen. Aus den erhaltenen Treffbildern wurde der mittelste Treffpunkt jedesmal als der Punkt angesehen, welcher den meisten Anspruch auf Richtigkeit habe, und durch die Verwerthung der Sätze vom Terrainwinkel wurden die Elevationen so korrigirt, als wenn der mittelste Treffpunkt eines Scheibenbildes im Zielpunkte, der eines Bildes der freien Ebene im Horizonte der Geschützmündung läge. Die so für die graphische Darstellung erhaltenen 7 Punkte mit ihren Elevationen wurden auf die bekannten Gitterbogen gezeichnet und durch eine Kurve verbunden — die Schußtafel für die Gebrauchsladung war fertig, so weit sie die Elevationen betrifft.

Die Ermittelung der sonstigen Angaben ergiebt sich aus dem weiteren Vortrage. Um dem Leser zu zeigen, wie hierbei gar keine Willkür stattfinden kann, auch gar keine besondere Geschicklichkeit als die der Erfahrung nöthig ist, geben wir beispielsweise folgende Resulate des 24Ters mit 4 K:

Schußweite = 600 — 1200 — 1800 — $2614\frac{1}{2}$ — 3318 — 4232 — 4964 Schritt,

Erhöhung = $1^0 30'$ — $3^0 44\frac{1}{2}'$ — $4^0 45\frac{1}{2}'$ — $7^0 7'$ — $8^0 25'$ — $13^0 3'$ — $15^0 47'$,

und bitten, diese entweder selbst zu zeichnen oder mit der Schußtafel zu vergleichen.

Die Ermittelung der Schußtafel oder das Zeichnen der Elevationskurve wird bei den gezogenen Geschützen dadurch erleichtert und gesichert, daß die Kurve durch den Nullpunkt gehen muß. Nämlich einmal zeigt die Kurve entschieden auf den Nullpunkt, und zeigt zweitens dadurch wieder, daß der Abgangswinkel gleich dem Richtungswinkel ist, was auch nach besonders dafür ausgeführten Ver-

*) Auch bei der Anwendung auf physikalische Untersuchungen steht die Linealinterpolation der Methode der kleinsten Quadrate mindestens gleich, da der Zweck der Interpolation nie die Formel, sondern die numerische Zahl ist.

suchen vorläufig als richtig anzusehen ist.*) Aus diesem Grunde genügten für die kleineren Ladungen des indirekten Schusses außer dem Nullpunkte drei Versuchspunkte zur Bestimmung der Elevationskurven. Diese drei Punkte sind auf 600, 1200 und 1800 Schritt bei jedem Geschütz für drei Ladungen erschossen worden mit je 15 Schuß. Ihre Verbindung durch eine Kurve gab die Elevationen für jede beliebige Entfernung bis 1800 Schritt und durch eine erlaubte geringe Verlängerung bis 2000 Schritt. Diese Ladungen waren die durch Versuche ermittelte ungefähr kleinste brauchbare Ladung und noch zwei, welche zwischen dieser und der Gebrauchsladung in ungefähr gleichen Abständen lagen, so z. B. beim 24 ℔er 3 ℔ — 2,2 ℔ und 1,7 ℔. Die hierfür ermittelten Elevationen waren:

Entfernung	3 ℔	2,2 ℔	1,7 ℔
600	$2^0 2^2/_3'$	$2^0 53^3/_4'$	$3^0 44^1/_2'$
1200	$4^0 15^1/_2'$	$5^0 58^1/_2'$	$7^0 56'$
1800	$6^0 33'$	$9^0 1^1/_2'$	$12^0 12'$

Wie es bei allen Rechnungen geschieht, so sondert auch die graphische Methode kleine Unregelmäßigkeiten der Versuchsresultate aus.

Die so erhaltenen Elevationen für die zu Grunde gelegten Ladungen wurden benutzt zur Erlangung derjenigen für alle zwischenliegenden Ladungen. Man zog nämlich aus ihnen diejenigen Zahlen für beliebige, aber bei allen Ladungen gleiche Entfernungen heraus; die Entfernungen waren 500, 1000, 1500, 2000 Schritt.

Beide Elemente, Elevation und Ladung, als Abscissen und Ordinaten auf einem Gitterbogen aufgezeichnet, zeigten das Gesetz ihres Zusammenhanges. Ihre Verbindung durch vier getrennte, jenen Entfernungen entsprechende Kurven gaben dann gleichzeitig die Elevationen für andere Ladungen, und zwar mit einer solchen Sicherheit, als wären sie selbst erschossen worden. So hat man sie denn auch betrachtet und aus ihnen mit weiterer Hilfe des Nullpunktes in derselben Weise wie bei der großen Ladung die Elevationen für den indirekten Schuß hergeleitet. Wir werden auch noch näher mit-

*) Die Möglichkeit einer Verschiedenheit dieser beiden Winkel läßt sich allerdings darthun. Einzelne unserer Röhre zeigen nämlich, daß das Geschoß mit seinem Bodenreifen die Felder, mitunter sogar bis tief in die Züge hinein, eingedrückt hat; dies ist nur erklärlich, wenn man annimmt, daß das Geschoß bei starken Ladungen, wenig gehindert durch den nur weichen Bleiumguß, im Rohre Battements macht, deren Einfluß denen der Rundgeschosse zwar nicht gleich, aber ähnlich ist.

theilen, wie die Schußtafeln für Shrapnels angefertigt sind; ebenso werden die gegebenen Korrekturmittel besprochen werden.

b. Die Verwandtschaft der Schußtafeln verschiedener Kaliber.

54. Um zu erkennen, in wie weit auf die Flugbahnen unserer gezogenen Geschütze die für die Parabel ermittelten Gesetze anwendbar sind, wollen wir mit diesen letzteren die über das Verhalten der Anfangsgeschwindigkeiten aus den verschiedenen Röhren gefundenen verbinden und dann die Schußtafeln für verschiedene Kaliber vergleichen. Zugleich werden wir ein Bild für die Wirkung des Luftwiderstandes erhalten.

I. Prüfen wir zunächst den Satz, daß bei gleichen Anfangsgeschwindigkeiten gleiche Elevationen gleiche Schußweiten geben müssen, oder umgekehrt, daß zu gleichen Schußweiten gleiche Elevationen gehören. Praktisch würde die Frage so lauten: Welche Schußtafel, z. B. des Kolben-6Zöllers ersetzt die des 24Zöllers für 4 Z? Wir haben gefunden:

Aus verschiedenen Kalibern geben gleiche Ladungsquotienten gleiche Anfangsgeschwindigkeiten. Da nun 54,3 : 13,8 = 4 : 1 ist, so haben wir die Schußtafel von 1 Z zu wählen, und finden

	Gußstahl 6Zöller — 1 Z	24Zöller — 4 Z.
1000 Schritt	—	2^{9} Grad	2^{9} Grad*)
2000 „	—	5^{11} „	5^{5} „

während 5^{10} Grad beim 24Zöller 2100 Schritt geben.

Es ist klar, daß das Gesetz nahehin paßt, und daß die Abweichung eine Folge der verschiedenen Einwirkungen des Luftwiderstandes ist. Würden wir noch mehrere Tafeln vergleichen, so würde sich herausstellen, daß die Schußtafel des 24Zöllers, welche der nächst kleineren als der 4fachen Ladung des 6Zöllers zugehört, auf großen Entfernungen besser entspricht. Danach würden 1 Z des 6Zöllers und 3,8 des 24Zöllers zusammengehören. Nämlich

	6Zöller — 1 Z	24Zöller — 3,8 Z
1000 Schritt	2^{9} Grad	2^{11} Grad
1500 „	4^{1} „	4^{2} „
2000 „	5^{11} „	5^{11} „

Entsprechend würden 1,2 Z und 4,8 Z, genauer aber 1,2 Z

*) Die klein gedruckten Zahlen bedeuten Sechzehntel.

und 4,5 ℔ zusammengehören (wobei die neueste Schußtafel zu Grunde liegt)

	6 ℔er — 1,2 ℔		24 ℔er — 4,5 ℔
1000	— 2^{2}	—	2^{4}
2000	— 4^{10}	—	4^{12}
3000	— 7^{9}	—	7^{10}
4000	— 11^{3}	—	10^{14}

Der 24 ℔er giebt mit 11^{3} Grad 4100 Schritt. Auf den kleinen Entfernungen ist der Unterschied in der Ueberwindung des Luftwiderstandes noch sehr unbedeutend. Bei dem Zwecke der Schußtafeln, als erster Anhalt zu dienen, überzeugt man sich leicht, daß dieser Satz für die Praxis ausreicht. Wenn wir nach der für die Ladungen beider Röhre gegebenen Regel weiter gehen, so finden wir

	6 ℔er		24 ℔er
	0,5 ℔	—	1,8 ℔ statt 2 ℔
2000 Schritt	12^{13} Grad		12^{12} Grad
	0,7 ℔	—	2,6 ℔ statt 2,8 ℔
2000 Schritt	8^{8} Grad		8^{7} Grad
	0,9 ℔	—	3,4 ℔ statt 3,6 ℔
2000 Schritt	6^{6} Grad		6^{7} Grad.

Diese kleinen Ladungen finden ihre Verwendung bekanntlich bei dem indirekten Schusse; bei diesem ist aber der Einfallwinkel von Bedeutung, auf welchen wir augenblicklich noch nicht rücksichtigen.

Indessen sieht man, daß nöthigenfalls die Schußtafeln des 6 ℔ers und des 24 ℔ers sich ersetzen können.

Wir haben schon früher bemerkt, daß unsere Röhre keineswegs genau proportional konstruirt sind; es können also die Anfangsgeschwindigkeiten nicht ganz scharf den Ladungsquotienten entsprechen. Die Abweichungen sind aber so gering, daß wir das Gesetz dennoch allgemein verwenden können: der 72 ℔er schießt seine 170 ℔ schwere Granate mit 16 ℔; suchen wir für die übrigen Kaliber die entsprechenden Ladungen, so erhalten wir folgende Gleichung der Ladungsquotienten:

$$\underset{\frac{16}{170}}{72\,℔\text{er}} = \underset{\frac{9}{95}}{36\,℔\text{er}} = \underset{\frac{5}{54{,}3}}{24\,℔\text{er}} = \underset{\frac{2{,}7}{29}}{12\,℔\text{er}} = \underset{\frac{1{,}3}{13{,}8}}{6\,℔\text{er}} = \underset{\frac{0{,}8}{8{,}5}}{4\,℔\text{er}}$$

wodurch die Zähler der besonderen Ladungen dargestellt werden. Der 12 ℔er hat aber nie mit 2,7 ℔ geschossen, deshalb müssen wir den noch einer besonderen Probe unterwerfen.

Schußtafeln:

		72 Ker 16 K	36 Ker 9 K	24 Ker 5 K	6 Ker 1,3 K	4 Ker 0,8 K
500	Schritt	1^{2} Grad	1^{2} Grad	1 Grad	1 Grad	1 Grad
1000	„	2^{8} „	2^{4} „	2 „	2 „	2^{2} „
1500	„	3^{6} „	3^{6} „	3^{2} „	3^{2} „	3^{9} „
2000	„	4^{8} „	4^{9} „	4^{6} „	4^{7} „	5^{2} „
2500	„	5^{11} „	5^{12} „	5^{10} „	— „	— „
3000	„	6^{14} „	7 „	7 „	— „	— „
3500	„	8^{2} „	8^{6} „	8^{8} „	— „	— „
4000	„	9^{6} „	9^{13} „	10^{1} „	— „	— „

Sehr deutlich zeigt sich für das Abnehmen des Kalibers auch die schwächere Ueberwindung des Luftwiderstandes.

Den 12 Ker wollen wir noch mit dem 6 Ker vergleichen; wir finden dann die entsprechenden Ladungen 2,1 K und 1 K.

		6 Ker	bronzener 12 Ker	eiserner 12 Ker
1000	Schritt	2^{9}	2^{11}	2^{7}
2000	„	5^{11}	5^{13}	5^{3}

Der bronzene 12 Ker hat etwas weniger, der eiserne etwas mehr Anfangsgeschwindigkeit als der 6 Ker mit 1 K.

Schließlich seien noch die Gebrauchsladungen des 4 Kers 1 K und des 6 Kers c/64 (1,4 K) mit dem 24 Ker verglichen. Die Ladungsquotienten sind:

$$\frac{4\text{ Ker}}{1} = \frac{24\text{ Ker}}{6} \quad ; \quad \frac{6\text{ Ker c/64}}{1{,}4} = \frac{24\text{ Ker}}{5{,}5}$$
$$\frac{1}{8{,}6} = \frac{6}{54{,}5} \quad ; \quad \frac{1{,}4}{13{,}8} = \frac{5{,}5}{54{,}5}$$

Schußtafeln:

		4 Ker 1 K	24 Ker 6 K	;	6 Ker c/64 1,4 K	24 Ker 5,5 K
1000	Schritt	1^{12} Grad	1^{12} Grad	;	1^{14} Grad	1^{14} Grad
1500	„	2^{13} „	2^{18} „	;	2^{15} „	2^{15} „
2000	„	4^{1} „	3^{15} „	;	4^{2} „	4^{1} „
2500	„	5^{7} „	5^{2} „	;	5^{6} „	5^{5} „
3000	„	7 „	6^{6} „	;	6^{14} „	6^{10} „

Auch hier zeigt sich wieder, wie der 6 Ker länger als der 6 Ker mit dem 24 Ker zusammenbleibt.

II. Ein zweites Gesetz war: Für gleiche Elevationen verhalten sich die Schußweiten wie die Quadrate der Anfangsgeschwindigkeiten, und da diese Quadrate sich verhalten wie die Ladungen, so folgt: Für gleiche Elevationen und gleiche Geschosse ver-

halten sich (aus gleichen Röhren) die Schußweiten wie die Ladungen.

Wählen wir für die verschiedenen Kaliber verschiedene Verhältnisse:

1) 24 ℔er, Verhältniß 2 : 1.

	4 ℔ Ladung	2 ℔ Ladung
1^4 Grad	500 Schritt	240 Schritt
2^9 „	1000 „	475 „
11^3 „	3800 „	2000 „

Es ergiebt sich, daß die größere Geschwindigkeit mehr Verlust erleidet; das zeigt sich namentlich bei sehr großen Unterschieden:

	6 ℔ Ladung	3 ℔ Ladung
1^{12} Grad	1000 Schritt	520 Schritt
3^{15} „	2000 „	1100 „
6^6 „	3000 „	1750 „

Das letzte Beispiel zeigt übrigens gleichzeitig den großen Einfluß, welchen die Jahreszeit auf die Größe des Luftwiderstandes hat, denn die Schußtafel für 6 ℔ wurde im Herbste, jene für 3 ℔ in der Julihitze erschossen.

	3,6 ℔ Ladung	1,8 ℔ Ladung
2^{13} Grad	1000 Schritt	475 Schritt
6^1 „	2000 „	990 „

2) Bronzener 12 ℔er, Verhältniß 3 : 2.

	2,1 ℔ Ladung	1,4 ℔ Ladung
2^7 Grad	900 Schritt	590 Schritt
5^3 „	1800 „	1210 „
9^3 „	3000 „	2030 „

3) Gußstahl 6 ℔er mit Kolbenverschluß, Verhältniß 4 : 3.

	1,2 ℔ Ladung	0,9 ℔ Ladung
3^5 Grad	1000 Schritt	740 Schritt
7^5 „	2000 „	1490 „

4) 24 ℔er, Verhältniß 3 : 1.

	6 ℔ Ladung	2 ℔ Ladung
2^2 Grad	1200 Schritt	400 Schritt
3^7 „	1800 „	620 „
6^6 „	3000 „	1150 „
8 „	3600 „	1450 „

Die größere Geschwindigkeit hat also wieder mehr verloren, wie das dem aufgestellten Luftwiderstandsgesetze entspricht.

56. Dieses Gesetz erhält für die praktische Verwerthung eine andere Form. Es handelt sich nämlich darum: aus der Schuß-

tafel einer Ladung die Elevationen (oder auch Aufsätze bei gleicher Visirlinie) für jede beliebige Ladung herzuleiten. Die Lösung besteht darin, daß wir z. B. um von 4 Pfund auf 2000 Schritt zu 3 Pfund überzugehen, diejenige Entfernung suchen, für welche 4 Pfund dieselbe Elevation verlangt, wie 3 Pfund für 2000 Schritt. Wir setzen also $3 : 4 = 2000 : x$, woraus $x = 2667$ Schritt wird. Nun verlangen 2667 Schritt bei 4 Pfund 7^5 Grad oder 14^{10} Zoll, und in der That giebt die Schußtafel von 3 Pfund für 2000 Schritt 7^5 Grad oder 14^{10} Zoll.

Zweites Beispiel: Wie viel Elevation fordern 6 ℔ — 3000 Schritt. $6 : 4 = 3000 : 2000$. Die Schußtafel giebt für 4 ℔ auf 2000 Schritt 5^5 Grad oder 10^{10} Zoll und für 6 ℔ auf 3000 Schritt 6^6 Grad oder 12^{12} Zoll. Wir geben dieses Beispiel, um ausdrücklich zu konstatiren, wie groß der Unterschied in der Einwirkung des Luftwiderstandes in der heißen und in kühlerer Jahreszeit sein kann, denn die Tafel für 4 ℔ ist aus dem Juli, die für 6 ℔ aus dem Spätherbste — oder, daß es möglich ist, daß bei sehr starken Ladungen (d. h. Geschwindigkeiten) ein Geschütz den Luftwiderstand weniger günstig überwindet als bei einer gewissen besten Ladung. Bei Betrachtung der Rotation werden wir das genauer besprechen.

Drittes Beispiel: Welche Elevation verlangen 4,5 ℔ — 3000 Schritt? $4{,}5 : 4 = 3000 : 2667$. Dafür fanden wir im ersten Beispiel 7^5 Grad, die Schußtafel giebt 7^{10} Grad. (Diese Schußtafel ist zwischen 4 ℔ und 6 ℔ interpolirt und nähert sich deshalb 4 ℔.

Viertes Beispiel: Bronzener 12℔er 2,1 ℔ auf 3000 Schritt giebt 9^3 Grad, 1,4 ℔ auf 2000 Schritt 9 Grad.

Gußstahl 6℔er c/64 — 1,4 ℔ auf 3000 Schritt 6^{14}, 0,7 ℔ auf 1500 Schritt 6^{10} Grad — 0,9 ℔ auf 1930 Schritt 6^{10} Grad.

Eiserner 6℔er 1,2 ℔ auf 3000 Schritt 7^9, 0,6 ℔ auf 1500 Schritt 7^6 Grad, 0,8 ℔ auf 2000 Schritt 7^5 Grad.

Es versteht sich übrigens von selbst, daß man nicht absolute Genauigkeit verlangen darf.

57. III. Die Anfangsgeschwindigkeiten verhalten sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den Geschoßgewichten; nach dem eben besprochenen Gesetze erhalten wir also:

Bei gleichen Ladungen und gleichen Elevationen verhalten sich die Schußweiten umgekehrt wie die Geschoßgewichte (aus gleichen Röhren).

Zur Prüfung liegen uns die Schußtafeln für Granaten und

Shrapnels und bei den schweren Kalibern für Vollgeschosse vor. Das 24 ℔ge Shrapnel wiegt 62 ℔; nach unserm Satze würden wir die Schußweiten der Shrapnels aus dem Verhältnisse 62 : 54,3 erhalten, z. B. die Granate geht mit 4 ℔ unter 6^8 Grad auf 2400, das Shrapnel auf 2120 Schritt.

Die Proportion giebt:

$$62 : 54{,}3 = 2400 : 2102.$$

Bei 9^2 Grad geht die Granate auf 3200 Schritt, das Shrapnel auf 2720 Schritt — wir finden

$$62 : 54{,}3 = 3200 : 2803.$$

Interessant ist nun der Vergleich zwischen Granaten und Vollgeschossen, welche 69,4 ℔ wiegen. Fragen wir nach der Schußweite der Granate mit 6 ℔ für die Elevation 13^5 Grad, mit welcher das Vollgeschoß bei derselben Ladung auf 5000 Schritt geht: wir finden dann:

$$54{,}3 : 69{,}4 = 5000 : 6400;$$ während die Schußtafel nur 5350 Schritt giebt.

Woher dieser Unterschied? Die Spitze der Vollgeschosse ist ganz scharf, dagegen die der Granaten bekanntlich abgestumpft — die Erscheinung entspricht also vollständig den Gesetzen über die Durchbrechung des Luftwiderstandes.

Die etwas abweichende Form des Zünderkopfes bei den Shrapnels giebt auch den Grund, weshalb trotz des gleichen Gewichtes dieses Geschoß etwas hinter der Granate zurückbleibt: es giebt nämlich die Erhöhung 7^{13} Grad der Granate 3300 Schritt, dem Shrapnel nur 3200 Schritt.

IV. Die beiden letzten Gesetze müssen sich offenbar verbinden lassen, nämlich: *Für gleiche Elevationen eines Geschützes verhalten sich die Schußweiten direkt wie die Ladungen und umgekehrt wie die Geschoßgewichte oder wie die Ladungsquotienten*, und wir wollen dies an einigen Beispielen vorführen:

1) das Shrapnel mit dünnem Bleimantel des 24 ℔ers erhielt mit 4 ℔ Ladung bei 8^{10} Grad die Schußweite 2700 Schritt; wie weit geht die Granate bei derselben Elevation mit 2 ℔ Ladung?

Bei 4 ℔ Ladung würde die Granate auf

$$54{,}3 : 62 = 2700 : 3100$$ Schritt gehen,

und bei 2 ℔ Ladung auf $4 : 2 = 3100 : 1500$ Schritt,

oder kürzer $\frac{4}{54{,}3} : \frac{2}{62} = 3100 : x$, woraus $x = 1550$ Schritt,

was genau der Schußtafel entspricht.

2) Welche Ladung müßte man wählen, um ohne Elevationsveränderung die Granate auch auf 2700 Schritt zu schießen?

Nachdem wir für 4 ℔ 3100 gefunden haben, ist zu setzen

$$3100 : 2700 = 4 : x,$$ woraus $x = 3{,}5$ ℔ gefunden wird.

Wir sehen also, daß die aus der paraboliſchen Theorie gefundenen Geſetze in weitem Umfange auf die Flugbahnen der gezogenen Geſchütze angewendet werden dürfen, und daß der Einfluß des Luftwiderſtandes am ſtärkſten ſich äußert:

a) beim Vergleiche der Schußtafeln von ſehr verſchiedenen Geſchoſſen,

b) beim Vergleiche ſehr verſchiedener Geſchwindigkeiten,

c) beim Vergleiche der Schußtafeln von Geſchoſſen ſehr verſchiedener äußerer Konſtruktion und zwar jedesmal erſt auf großen Entfernungen. Dieſe Vergleichsmittel ſind aber für die praktiſche Beurtheilung der Flugbahnen durchaus hinreichend, und wir wollen deshalb dieſe Geſetze in ihrer allgemeinſten Form darſtellen.

59. V. Aus einer beliebigen Schußtafel z. B. für 1,2 ℔ des Kolben- 6 ℔ers die Elevation für jedes beliebige Geſchoß von ähnlicher Form aus einem andern Geſchütz jede beliebige Schußweite und jede beliebige Ladung abzuleiten.

Der Gang der Herleitung ergiebt ſich am einfachſten aus einem Beiſpiele:

1) Wie viel Elevation verlangt die 24 ℔er Granate bei 3 ℔ Ladung für 1500 Schritt?

Der Ladungsquotient des 6 ℔ers iſt $\frac{1{,}2}{13{,}8}$ dem entſpricht für den 24 ℔er $\frac{4{,}7}{54{,}3}$ d. h. 4,7 ℔ bringen die 24 ℔er Granate bei gleicher Elevation eben ſo weit, als 1,2 ℔ die 6 ℔er Granate.

Nun verhalten ſich die Schußweiten wie die Ladungen, alſo wenn 3 ℔ die Granate auf 1500 Schritt bringen, ſo finden wir für 4,7 ℔ die Schußweite

$$3 : 4{,}7 = 1500 : 2350$$ Schritt.

Hätten wir beim 6 ℔er nun zwei Ladungen, welche ſich wie 4,7 : 3 verhalten, ſo würden ja auch deren Schußweiten in dieſem Verhältniſſe ſtehen, d. h. alſo die für 3 ℔ geſuchte Elevation iſt dieſelbe der nicht bekannten Ladung des 6 ℔ers für 1500 Schritt, mit welcher 1,2 ℔

die Granate auf 2350 Schritt bringen, oder kürzer 2350 Schritt des 6 ℔ers geben die gesuchte Elevation und zwar 5 Grad. Der 24 ℔er verlangt für 3 ℔ und 1500 Schritt in Wirklichkeit 5^6 Grad. Die Abweichung ist also sehr gering. Würden wir 4,5 ℔ statt 4,7 in Rechnung stellen, so würde die Proportion

$$3 : 4{,}5 = 1500 : 2250,$$

und die Elevation des 6 ℔ers für 2250 Schritt ist $5^{4}/_{2}$ Grad.

2) Wie viel Elevation verlangt die 12 ℔er Granate für 1500 Schritt bei 1,5 ℔ Ladung?

$$13{,}8 : 29 = 1{,}2 : 2{,}5 \text{ ℔}$$
$$1{,}5 : 2{,}5 = 1500 : 2500 \text{ Schritt.}$$

2500 Schritt des 6 ℔ers geben 6 Grad, und die Schußtafel des 12 ℔ers verlangt für 1500 Schritt und 1,5 ℔ Ladung 6^1 Grad.

3) Wie viel Elevation verlangt die 72 ℔er Granate für 3000 Schritt bei 16 ℔ Ladung?

$$13{,}8 : 170 = 1{,}2 : 14{,}8 \text{ ℔}$$
$$16 : 14{,}7 = 3000 : 2780 \text{ Schritt.}$$

Der 6 ℔er giebt für 2780 Schritt 6^{14}, der 72 ℔er für 3000 Schritt 6^{14} Grad.

Schreiben wir

$$13{,}8 : 170 = 1{,}2 : 14{,}8$$
$$2780 : 3000 = 14{,}8 : 16,$$

so bildet sich daraus $2780 : 3000 = \frac{42}{13{,}8} : \frac{16}{170}$. Das Gesetz lautet also: Bei allen unsern gezogenen Geschützen verhalten sich für gleiche Elevationen die Schußweiten wie die Ladungsquotienten. Man kann also neben der eben gelösten Aufgabe auch leicht eine gesuchte Ladung bestimmen; die erste Aufgabe würde also heißen:

$\frac{3}{54{,}3} : \frac{1{,}2}{13{,}8} = 1500 : x$, woraus $x = 2250$ Schritt; die zweite: $\frac{2{,}5}{29} : \frac{1{,}2}{13{,}8} = 1500 : 2500$.

Man erkennt hieraus für die Praxis die große Gesetzmäßigkeit der Flugbahnen, für die Theorie aber, daß die graphische Methode der Ballistik im Stande ist, diese Gesetzmäßigkeit unverfälscht zur Anschauung zu bringen.

c. Die Uebertragung von Elevations-Graden in Aufsatz-Zolle.

6. Die Elevation oder die Richtung der Seelenaxe nach

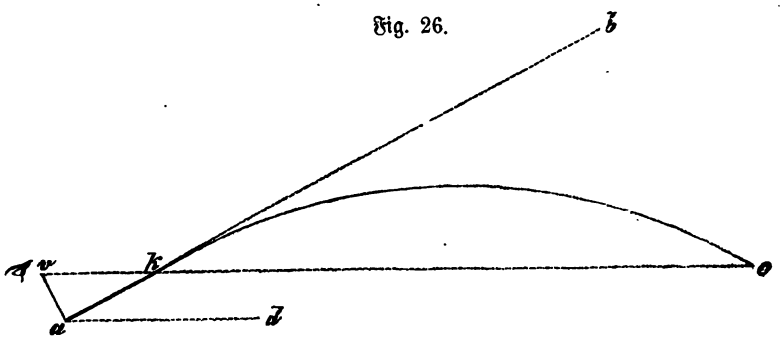
Graden wird einem Rohre mittelst des Quadranten gegeben, indem man eine Ebene an der äußeren Fläche des Rohres, welche zugleich der Seelenaxe und der Schildzapfenaxe parallel ist, in die vorgeschriebene Richtung bringt.

(Anmerkung: Dies kann auch geschehen, indem man, wie in einigen Artillerien, die unterste Linie der Seelenwand richtet, oder indem man den Quadranten an die Mündungsfläche stellt und dieser Ebene eine solche Richtung giebt, welche durch die vorgeschriebene zu 90 Grad ergänzt wird). Unsere Schußtafeln sind nun so bestimmt worden, als ob der zu treffende Punkt in der Höhe der Geschützmündung läge. Das findet aber in Wirklichkeit höchst selten statt; wir müssen also immer unsre Bahnen schwenken, müssen also bei jedem Schusse den Terrainwinkel des Zieles in Bezug auf unser Geschütz ermitteln und beim Richten des Rohres berücksichtigen. Wie man mit Hülfe der Winkeltabelle den Terrainwinkel findet, ist bereits besprochen; es wird dabei vorausgesetzt, daß man Entfernung und Ueberhöhung kenne. Die Geschützpraxis giebt ein einfaches Mittel:

Man richtet mit dem Auge die Seelenaxe (oder eine ihr parallele Linie — Visir und Korn) auf den Zielpunkt, und mißt mit dem Quadranten die dadurch bewirkte Elevation oder Inklination, dann ist diese der gesuchte Terrainwinkel. Für den Fall der Elevation muß die Bahn um den Terrainwinkel aufwärts, für den Fall der Inklination abwärts geschwenkt werden, d. h. ein positiver Terrainwinkel wird zu der vorgeschriebenen Elevation addirt, ein negativer von derselben subtrahirt.

Denken wir zunächst Zielpunkt und Geschützmündung in gleicher Höhe (den Terrainwinkel also gleich Null) und die Seelenaxe elevirt, wie in Figur 26,

Fig. 26.

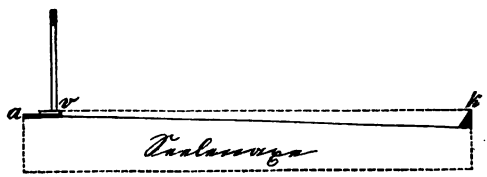


so daß sie mit dem Horizonte den Winkel v k a = b k c oder = k a d bildet. Denken wir dann rechtwinklig zur Seelenaxe die Aufsatzstange v a, so wird dem Winkel v k a eine solche Länge v a entsprechen, welche folgende Eigenschaften hat: wenn die Richtung von a k beliebig verändert würde, und dann ohne Benutzung des Quadranten das Bodenstück des Rohres wieder so lange auf- oder abwärts bewegt, bis man in der Linie v k den Punkt c sieht, so muß die Seelenaxe a h wieder genau den Elevationswinkel v k a ergeben. Der Quadrant kann also durch den Aufsatz ersetzt werden. Es wird dadurch Nichts geändert, daß man den Aufsatz nicht direkt von der Seelenaxe aus, sondern von einer außerhalb des Rohres liegenden, der Seelenaxe parallelen Linie zählt, denn für die Zielenweiten der Artillerie verschwindet der geringe Höhenunterschied zwischen der Seelenaxe und der durch Visir und Korn bestimmten Visirlinie*) — sind die Entfernungen aber ganz klein, wie möglicherweise beim Breschеschießen, so ist jener Unterschied allerdings zu berücksichtigen, was wir später näher besprechen wollen.

Jeder Winkel v k a erfordert eine andere Aufsatzlänge, ebenso auch verlangt eine andere Länge von a k (Visirlinie) für gleiche Winkel eine besondere Aufsatzlänge. Die Uebertragung der Elevations-Grade in Aufsatz-Zolle geschieht mittelst der Formel: Aufsatz = v tang α mit Hülfe der Logarithmentafel, wo v die Länge der Visirlinie und α den Elevationswinkel bedeuten.

61. Für unsere gezogenen Festungsgeschütze, d. h. für diejenigen Röhre, welche nicht einen feststehenden Aufsatz haben, ist folgende Bemerkung nöthig:

Fig. 27.

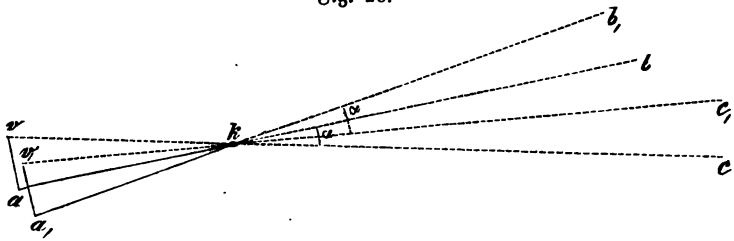


Es wird bei gezogenen Geschützen mit gestrichen Korn

*) Man macht Richtungsfehler, welche z. B. bei 1200 Schritt nur etwa 30 Sekunden, bei 2000 Schritt natürlich noch weniger betragen. Wegen der Kleinheit dieser sogenannten Parallaxe ist es praktisch unmöglich, Distancemesser für die Feld-Artillerie zu konstruiren, welche nicht die Messung einer größeren Standlinie voraussetzen.

gerichtet, d. h. nicht wie früher über den tiefsten Punkt des Visireinschnittes und die Kornspitze, sondern so, daß die Kornspitze sich mit der Höhe des Visirrückens vergleicht, daß also bei Null Grad Elevation, wo die Seelenaxe horizontal liegt, auch die Linie v k (Fig. 27.) horizontal ist. Bei Anwendung des Aufsatzes, welcher seinen Nullpunkt in der Fußplatte hat, steht dieser aber auf der Visirplatt a, zehn Hunderttheile tiefer als der Visirrücken; folglich haben wir bei Null Grad Elevation schon 10h oder $1\frac{1}{2}$ Sechzehntel Zoll und bei α Grad nicht v tang α, sondern schon v tang $\alpha + 10$ h. Daraus ergiebt sich die, den Schußtafeln als Bemerkung vorgedruckte Regel: „Bei Verwandlung von Erhöhung in Aufsatz ist zu letzterem 0,10 Zoll zu addiren; umgekehrt vor der Verwandlung von Aufsatz in Erhöhung von ersterem vorher 0,10 Zoll zu subtrahiren.“ Beim Gußstahl-6 ℔er mit Kolbenverschluß, welcher auch einen nicht feststehenden Aufsatz hat, ist diese Rücksicht nicht zu nehmen, weil der Höhenunterschied der Visirplatte und des Kornes, welcher hier 0,35 Zoll beträgt, durch Höherlegen des Nullpunktes am Aufsatze schon ausgeglichen ist.

Fig. 28.



62. Denken wir jetzt, der Zielpunkt c (Fig. 28) hat den Terrainwinkel c_1 k o, dann muß die Elevation b k c = α um diesen Winkel vergrößert werden, so daß Winkel b_1 k c_1 wieder = α wird. Bleibt nun der Aufsatz v a unverändert, kommt aber in die Lage v_1 a_1, so hat offenbar die Linie v_1 k dieselbe Schwenkung gemacht wie k c_1 und wie k b_1. Um also die Bahn über k e um den Terrainwinkel c_1 k c aufwärts zu schwenken, müssen wir bei unveränderter Aufsatzlänge über v_1 und k nach c_1 richten, d. h.: Bei Anwendung des Aufsatzes kümmert man sich nicht um den Terrainwinkel, sondern richtet auf den Zielpunkt mit dem seiner Entfernung entsprechenden Aufsatze, ob er auch höher oder tiefer liegt als die Geschützmündung.

Hierin liegt die große Bequemlichkeit des Aufsatzes dem Qua-

branten gegenüber; wir müssen uns dessen erinnern bei der Besprechung des indirekten Schusses, und es handelt sich darum, zu untersuchen, bis zu welchen Elevationen wir das Schwenken der Bahnen durch die bloße Richtung mittelst des Aufsatzes ausführen dürfen.

63. Der Aufsatz ist abhängig von der Länge der Visirlinie; wir wollen nun mit Vernachlässigung der zu addirenden 0,10 Zoll Verhältnißzahlen aufstellen, welche die Beziehungen zwischen Elevationsgraden und Aufsatzzollen ausdrücken.

Geschütz.	Länge der Visirlinie. Zoll.	Verhältniß zwischen Grad und Zoll.
4Ller	37,66*)	3 Grad = 2 Zoll.
6Ller (gußstählerner mit Keilverschluß) c/64	35,86	8 „ = 5 „
6Ller (gußstählerner mit Kolbenverschluß)	77	3 „ = 4 „
6Ller (eiserner)	75	3 „ = 4 „
12Ller (bronzener)	75	3 „ = 4 „
12Ller (eiserner)	102,3	4 „ = 7 „
24Ller (eiserner, bronzener, gußstählerner)	113,5	1 „ = 2 „

Die Bedeutung dieser Zahlen ist leicht verständlich. Es ergiebt sich auch aus ihnen Aufklärung darüber, worum wir die Leistungen verschiedener Geschütze nicht nach den anzuwendenden Aufsätzen, sondern lediglich nach den Elevationen beurtheilen müssen. Jedoch bei demselben Rohre oder bei gleicher Visirlinie verschiedener Röhre gelten alle Gesetze der Elevationen auch für die Aufsätze.

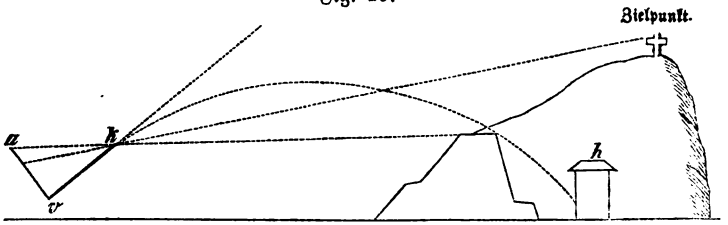
64. Der Quadrant läßt sich nicht in allen Fällen direkt durch den Aufsatz ersetzen; es wird oft vorkommen, daß man den letzteren erst anwenden kann, nachdem mit dem ersteren einmal gerichtet worden ist. Diese Fälle sind für die Praxis von nicht geringerer Wichtigkeit als die unmittelbare Uebertragung von Graden in Zolle. Sie treten allemal ein, wenn entweder das Ziel sehr entfernt ist, oder wenn Nacht oder Nebel verhindern es zu sehen, oder auch, wenn uns ein solches Hinderniß entgegentritt beim Schießen durch erhöhte Scharten oder beim indirekten Schuß. Hierbei giebt es je-

*) Die kurzen Visirlinien gestatten den Gebrauch des Aufsatzes bis zu sehr bedeutenden Elevationen, aber sie geben durchaus Anlaß zu ungenauem Richten. (Der österr. 4Ller hat nur ungefähr 21 Zoll, um auf 5000 Schritt richten zu können, was aber aus vielen Gründen illusorisch ist).

doch folgende praktische Regel: Läßt die Lage des Zielpunktes das direkte Zielen über Aufsatzvisir und Korn nicht zu, so eleviren wir mittelst des Quadranten, richten dann das Aufsatzvisir nach irgend einem festen, vor dem Geschütze liegenden Punkte und erhalten so für jeden folgenden Schuß die der Entfernung entsprechende Elevation, wenn wir mit demselben Aufsatze nach demselben Punkte zielen.*)

Der gewählte Zielpunkt kann in der Schußrichtung ganz beliebig hoch oder tief liegen; er kann auch für gezogene Geschütze, bei der Möglichkeit den Aufsatz seitwärts zu verschieben, etwas außerhalb der Schußrichtung sich befinden.

Fig. 29.



Ist z. B. das Blockhaus h (Fig. 29) das Ziel und ist die gehörige Elevation ermittelt, so kann man den Aufsatz nach irgend einem festen Punkte der inneren Krete einrichten, oder man kann, wenn es bequemer ist, nach dem Schornstein eines Hauses richten u. s. w.

65. Wir haben bei dieser Gelegenheit das Klappkorn einiger unserer Röhre zu besprechen.

Das Umklappen des Korns hat den Zweck, beim Schießen aus Kasematten beim Zurücklauf des Geschützes gegen das Anstoßen an die obere Schartenwand zu schützen. Das kleine Korn bietet dann doch ein Mittel zum Richten. In diesem Falle würde bei Null Aufsatz die Visirlinie die Seelenaxe vor dem Rohre schneiden, und es würde ein sogenannter Visirwinkel entstehen, auf welchen man aber insofern nicht zu rücksichtigen hat, als man dann fast immer einen sogenannten künstlichen Zielpunkt wählt, nach dem mit dem Quadranten gerichtet war.

Es ist auch möglich, daß man aus Kasematten frei ins Vorterrain sehen kann, z. B. in See- und Bergfestungen. Dann be-

*) Die Lage des künstlichen Zielpunktes ist auch in Bezug auf die Ausführung der Korrekturen gleichgültig; darüber weiter unten.

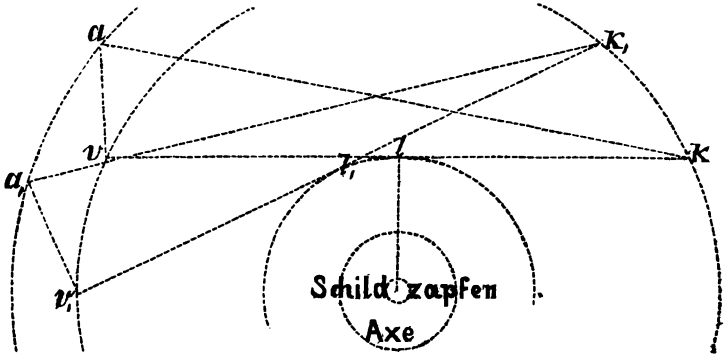
nutzt man das kleine Korn ohne künstlichen Zielpunkt, indem man, wenn es die Entfernung zuläßt, von dem vorschriftsmäßigen Aufsatz soviel Zoll abzieht, als der Unterschied der beiden Kornhöhen beträgt. Man erlangt dadurch einen Gewinn an Aufsatzlänge. Dies beträgt beim

eisernen 24 Ker	3^8	Zoll
aptirten bronzenen 24 Ker	3^8	„
neuen bronzenen 24 Ker	1^{12}	„
gußstählernen 24 Ker	2	„
bronzenen 12 Ker	1^4	„
eisernen 6 Ker	2^4	„

66. Diejenigen Sätze, auf welche sich das Richten des Rohres mittelst des Aufsatzes stützt, sind nicht absolut richtig:

1) Wir haben nicht, wie es sein müßte, die Schildzapfenaxe, sondern die Spitze des Korns als Drehaxe des Rohres betrachtet, und in Wirklichkeit geht doch die Kornspitze, wenn es auf dem Kopfe des Rohres sich befindet, aufwärts, sobald das Bodenstück abwärts geht und so umgekehrt. Unsere Auffatzpraxis stützt sich darauf,

Fig. 30.

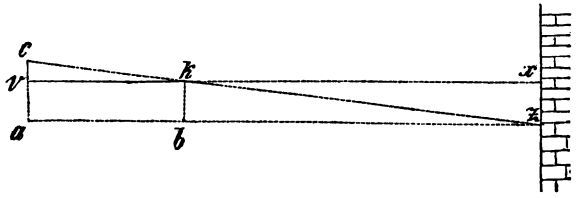


wenn wir über Visir und Korn v k (Fig. 30) richten, über den Auffatz a und das Korn k einen am Ziele tiefer als der eigentliche Zielpunkt z liegenden Punkt x anvisiren und nun die Linie a k auf den Zielpunkt richten, daß dann die Linie v k auf einen Punkt g zeigt, welcher genau so viel über z als x unter demselben liegt. Stellt man sich nun vor, wie wir es zu auffallend gezeichnet haben, daß die Linie v k in v, k, übergeht, indem der Kreis $l\, l_1$ tangirt wird, so muß ein Punkt y durch v k getroffen werden, welcher nicht genau so hoch über z als x darunter liegt. Wir

führen dies an, um gleich hinzuzufügen, daß es für die Praxis vollständig ohne Bedeutung ist.

2) Wir richten eine Linie auf das Ziel, welche nicht durch die Mitte der Mündung oder den Anfangspunkt der Flugbahn geht, sondern mit ihrem Endpunkte sich um die Kornhöhe über jenem Punkte befindet. Dieser Fehler ist bei Entfernungen, welche einige hundert Schritte betragen, ebenfalls verschwindend klein. Anders aber ist es bei ganz kleinen Entfernungen, wie sie zum Breschelegen wohl zur Verwendung kommen können, oder mit anderen Worten, bei Schußweiten, auf welchen wir die Flugbahn noch als nahehin gradlinig betrachten dürfen (Fig. 31).

Fig. 31.



Sei a b die Seelenaxe, z der Zielpunkt b z so klein, daß es als gerade zu betrachten ist (z. B. 50 Schritt von der Contreskarpe bis zur Mauer), ferner v k die zu a b parallelle Visirlinie, so wird man, wenn a b auf z gerichtet ist, über v k nach x sehen, also um die Kornhöhe b k zu hoch. Wird das Rohr so viel inklinirt, bis man z anvisirt, so geht die Richtung von a b offenbar um x z tiefer als z, folglich wird zu niedrig geschossen. Um diesen Fehler aufzuheben, mußte man von vornherein einen Punkt x als Zielpunkt wählen, welcher um die Kornhöhe höher liegt als der beabsichtigte Treffpunkt z. Man erkennt aber auch aus der Figur, daß es ebenso einfach ist, einen Aufsatz c v zu berechnen, welcher die Visirlinie in z in die Richtung der Seelenaxe einschneiden läßt. Dies geschieht durch die Proportion

$$b\,z : v\,k = b\,k : c\,v$$

z. B. beim 24Ller ist v k = 113,5 Zoll, b k sei 10 Zoll, b z = 50 Schritt, dann wird:

$$50 \cdot 2{,}4 \cdot 12 \text{ Zoll} : 113{,}5 \text{ Zoll} = 10 \text{ Zoll} : \frac{x}{16} \text{ Zoll}$$

und daraus der Aufsatz c z = $12\frac{1}{2}$ Sechzehntel Zoll.

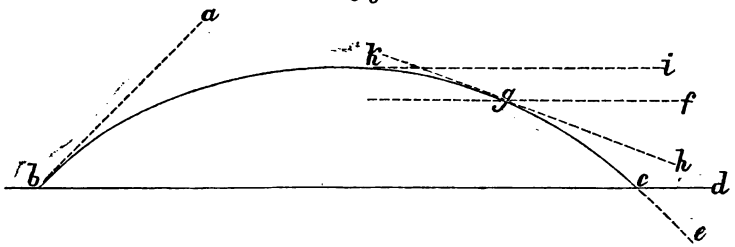
Dieser Rücksicht bedarf der Breschеschuß bis etwa 150 Schritt, wo die Länge c v zu dem vorschriftsmäßigen Aufsatze zu addiren ist.

d. Von den Einfallwinkeln und den Tangentenwinkeln.

67. Den Winkel, welchen die letzte Richtung der Flugbahn mit dem Horizonte bildet, haben wir den Einfallwinkel genannt. Dieser Winkel ist ein besonderer Fall der Tangentenwinkel, welche allgemein diejenigen Winkel bezeichnen, die in beliebigen Punkten der Bahn von der jedesmaligen Richtung der Flugbahn mit einer horizontalen Linie gebildet werden.

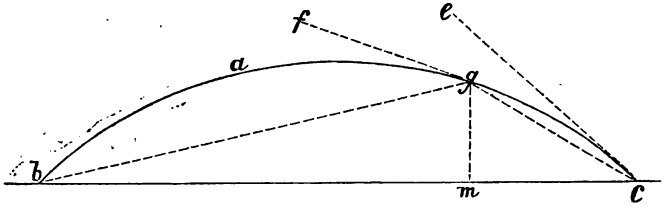
In der Figur 32 sind mehrere Tangentenwinkel dargestellt, von denen a b c die Elevation und d c e der Einfallwinkel sind;

Fig. 32.



f g h ist ein Tangentenwinkel im absteigenden Aste der Bahn, während die Linie k i die Richtung des Geschosses im Momente der Kulmination anzeigt. Da wir nun immer von den Winkeln sprechen, welche kleiner als 90 Grad sind, so ist es bequemer, die Tangenten des absteigenden Astes nach rückwärts zu zeichnen und ist dann in Figur 33 b c e der Einfallwinkel und der Winkel,

Fig. 33.



welchen f g mit einer Horizontalen macht, der Tangentenwinkel des Punktes g.

Denken wir den Punkt g mit dem Anfangspunkte b verbunden, so können wir b a g als die aufwärts geschwenkte Bahn der Entfernung b m und den Winkel f g b als den Einfallwinkel der Bahn für b m betrachten. Ziehen wir jetzt g c und erinnern uns des Satzes aus der Geometrie: Der Winkel f g b, welchen

eine Tangente im Berührungspunkte mit einer Sehne macht, ist gleich dem Peripheriewinkel g c b auf dem eingeschlossenen Bogen, so zeigt sich, daß der Winkel f g b = g c b ist. Diesen letzteren Winkel können wir aus der Winkeltabelle bestimmen: Wir suchen, wenn z. B. b m = 1900 Schritt ist und für die 24 ℔er Granate bei 4 ℔ Ladung der Winkel g b m als Unterschied der Elevationen von 1900 und 2000 Schritt gleich $^5/_{16}$ Grad ist, die Höhe g m und finden in der Winkeltabelle als mittlere Zahl 25 Fuß; dann suchen wir den zu 100 Schritt und 25 Fuß gehörigen Winkel gleich $5^5/_{16}$ Grad, welches mithin der Einfallwinkel für 1900 Schritt ist. Dieser Winkel steht in der Schußtafel aber bei 2000 Schritt — der Grund liegt darin: weil die Elevationen auf Sechszehntel abgerundet sind, so kommt es vor, daß die Unterschiede nicht ganz gleichmäßig wachsen, und daß wir in unserm Falle statt $^5/_{16}$ hätten etwa $4^1/_2$ oder $4^3/_4$ Sechszehntes wählen müssen. Für diese Winkel ergab die Winkeltabelle dann die Größe von g m = 22 oder 24 Fuß und der Einfallwinkel wurde 5^4 oder 5^{11}, während die Schußtafel 5^{10} ergiebt. Die Einfallwinkel sind nach einer Schußtafel berechnet, welche nur auf halbe Minuten ($^1/_{16}$ Grad = $3^3/_4$ Minuten) abgerundet war, außerdem nach einer strengeren Formel (tang $\varphi = \frac{A \text{ tang } (\alpha - \alpha,)}{A - a}$, wo φ der Einfallwinkel, A die größere Entfernung, a die kleinere und α und α, die bezüglichen Erhöhungsmittel bedeuten) und mittelst der Logarithmentafel berechnet. Unsere Ermittelung ist also nur eine genügende Annäherung, welche wir nach obiger Formel noch einfacher so ausdrücken:

Wenn wir den Unterschied der Elevationen für zwei sehr wenig verschiedene Entfernungen mit der größeren Entfernung multipliciren und durch den Unterschied der Entfernungen dividiren, so erhalten wir den Einfallwinkel der größeren Entfernung.

Beispiel: 24 ℔er Granate — 4 ℔

Entfernung 1900 Schritt — 2000 Schritt
Erhöhung 5 Grad — 5^5 Grad
Unterschied $^5/_{16}$ Grad, im Mittel aber $4^3/_4$
Einfallwinkel $\frac{2000 \cdot 4^3/_4}{100}$ = 95 Sechzehntel = 5^{15} Grad, wie die Schußtafel verlangt.

Die eben gegebene Regel*) beruht offenbar darauf, daß wir

*) Wir wollen die obige Formel hier für den Kreis auf dieselbe Weise herleiten, wie dies sonst für die Parabel geschieht, indem wir zei-

annehmen, der Winkel g c m sei eben so viel mal größer als der Winkel g b m, wie die Linie b m mal größer ist als c m. Das ist auch bei nicht großen Winkeln sehr nahe richtig und reicht für die Praxis vollkommen aus.

Es ist nämlich zu bemerken, daß bei allen Rechnungen, welche sich auf die Einfallswinkel stützen, selbst ein halber Grad ohne praktischen Einfluß ist.

68. Wir überlassen es dem Leser, aus den verschiedenen Schußtafeln Einfallwinkel zu berechnen; nur wollen wir an Nr. V. des vorigen Abschnitts noch eine Bemerkung knüpfen und dann der Aeußerung des Luftwiderstandes auf die Größe der Einfallwinkel einige Worte widmen.

Aus der Schußtafel des 6Zers für 1,2 ℔ haben wir die Elevationen für beliebige andere Verbindungen hergeleitet; es fragt sich, ob sich das auch auf die Einfallwinkel ausdehnen läßt?

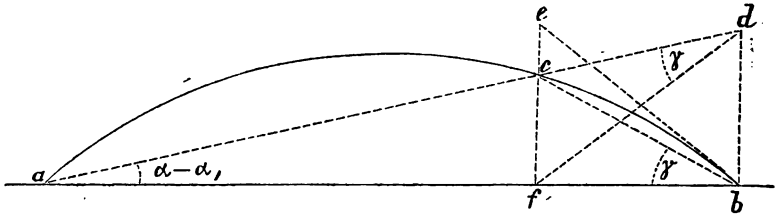
Es handelt sich ja nur um die entsprechenden Elevationsunterschiede; daß Verfahren zeigt sich wieder am einfachsten durch einige Beispiele:

1) Um für die 24Zer Granate bei 3 ℔ Ladung die Elevation für 1500 Schritt zu finden, mußten wir die Eleva-

---

gen, daß in der Figur 34 die durch die Tangente e b begrenzte Linie

Fig. 34.



e f gleich der Linie d b ist, welche durch die Richtung a c begrenzt wird, indem wir annehmen, a c sei der aufwärts geschwenkte Horizont a f, also indem wir den oft wiederholten, auch bei der Parabel erlaubten Fehler machen, es sei a c wirklich = a f. Die Tangente e b bildet mit der Sehne a b den Winkel a b e (Einfallwinkel); dieser ist gleich einem Peripheriewinkel auf dem Bogen a c b oder gleich der Summe zweier auf Bogen a c und c b, d. h. gleich der Summe von c a b und c b a oder von $\alpha - \alpha_1$ und γ, d. h. $\varphi = \gamma + (\alpha - \alpha_1)$. Setzen wir nun a c = a f und a d = a b, so ist $\triangle$ a f d $\cong$ a c b, also W. a d f = γ, und da W. d f b als Außenwinkel = $\gamma + (\alpha - \alpha_1)$, so ist W. d f b = φ. Daraus ergiebt sich die Kongruenz von $\triangle$ d f b und e f b, also die Gleichheit von e f und d b. Setzt man jetzt a b = A und a f = a, so wird (A — a) tang φ = A tang $(\alpha - \alpha_1)$, woraus man bei der Abkürzung das Wort tang verschwinden läßt.

tion der 6Ker Granate mit 1,2 K auf 2250 Schritt gleich $5^{41/3}$ Grad nehmen. Suchen wir in derselben Weise die Elevation für 1400 Schritt, also

$$3 : 4{,}5 = 1400 : 2100,$$

und subtrahiren die zugehörige Elevation des 6Kers 4^{11} Grad von $5^{41/3}$ Grad, so ist die Differenz $6^1/_2$ Sechszehntel der zu 3 K und 1500 Schritt gehörige Elevationsunterschied. Der Einfallwinkel ergiebt sich also $15 . 6^1/_2 = 97^1/_2$ Sechszehntes $= 6^1$ Grad, während die Schußtafel 5^{10} Grad ergiebt, also einen Unterschied von $^7/_{16}$.

2) Einfallwinkel der 12Ker Granate mit 1,5 K auf 1500 Schritt? Die Elevation ist die des 6Kers von 2500 Schritt gleich 6 Grad. Für 1400 Schritt finden wir $1{,}5 : 2{,}5 = 1400 : 2333$, also 5^{8-9} oder die Differen $^7/_{16}$. Mithin ist der gesuchte Einfallwinkel $15 . 7 = 6^9$ Grad, nach der Schußtafel 6^6.

3) Einfallwinkel der 72Ker Granate mit 16 K auf 3000 Schritt? Die Elevation war 6^{14} Grad. Ferner ist $16 : 14{,}8 = 2900 : 2682$, also die zugehörige Elevation 6^9 und die Differenz $^5/_{16}$, also der Einfallwinkel $30 . 5 = 9^6$ Grad. Die Schußtafel giebt 7^6, und wir erkennen daraus, daß wir bei großen Entfernungen wegen der bedeutenden Multiplication der Fehler diese Manier nicht anwenden dürfen. Es sind nämlich in den drei Beispielen die Differenzen immer um $^1/_{16}$ zu groß.

69. Um jetzt den Luftwiderstand zu beobachten, denken wir uns durch die gegebenen Mittel zwei Bahnen gezeichnet für zwei Granaten verschiedener Kaliber, z. B. 24Ker und 6Ker, welche auf gleiche Entfernungen mit nahe gleichen Anfangsgeschwindigkeiten geschossen werden, z. B. auf 2000 Schritt mit 4 K und 1 K.

Wir erhalten dann folgendes Tableau:

	24Ker		6Ker	
Entfernung	Erhöhung	Schwenkung	Erhöhung	Schwenkung
Schritt	Grad	Grad	Grad	Grad
400	1	4^5	^{15}	4^{12}
800	2	3^3	2	3^{11}
1200	3^1	2^4	3^2	2^9
1600	4^2	1^3	4^6	1^5
2000	5^5	0	5^{11}	0

Die Schwenkungswinkel zeigen, daß der 6Ker, obgleich zuerst weniger elevirt, bald genöthig ist, seine Bahn höher zu legen als

der 24 Ker. Er muß also einen mehr gekrümmten Weg beschreiben, um dasselbe Ziel zu erreichen. Daraus folgt, daß sein Einfall steiler wird als der des 24 Kers. Noch deutlicher tritt dies hervor, wenn beide Geschütze mit gleicher Elevation schießen.

Es wird dann für den 6 Ker die Bahn nur auf 1900 Schritt reichen, und zwar wird

Entfernung Schritt	Erhöhung Grad	Schwenkung Grad
400	1^5	4^6
800	2	3^5
1200	3^2	2^3
1600	4^6	1^5
1900	5^5	0

Der 6 Ker muß von vornherein seine Bahn höher legen als der 24 Ker, holt ihn bei 800 Schritt wieder ein und bleibt nun unter demselben; der Einfallwinkel muß also größer werden als der des 24 Kers.

Der Satz heißt also allgemein: *Bei gleicher Anfangsgeschwindigkeit und gleicher Elevation ist der Einfallwinkel des kleineren Kalibers größer als der des größeren.*

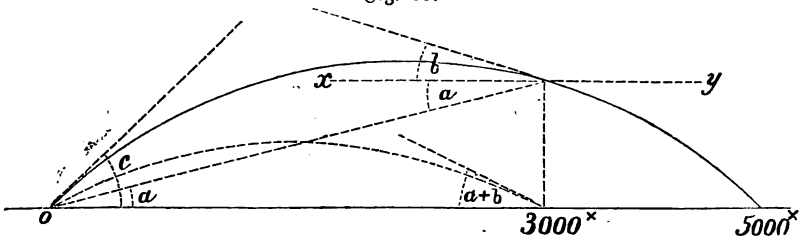
70. Vergrößern wir die Geschwindigkeit des 6 Kers, erhöhen also die Ladung auf 1,1 K, so wird auf 2000 Schritt der Einfallwinkel 5^{15}, also gleich dem des 24 Kers, d. h. durch die Vergrößerung der Ladung des kleineren Kalibers kann in Bezug auf die Einfallwinkel der Einfluß des Luftwiderstandes aufgehoben werden. Es wird sich zeigen, daß dann dieser Einfluß sich noch in der Endgeschwindigkeit äußert. Haben wir bei demselben Geschütze verschiedene Ladungen, also verschiedene Geschwindigkeiten, so muß, weil der Luftwiderstand mit dem Quadrate der Geschwindigkeiten wächst, die größere Geschwindigkeit mehr Verlust erleiden, d. h. *bei gleichen Elevationen geben die größeren Ladungen größere Einfallwinkel*, z. B. bei 12 Grad hat der 24 Ker mit 4 K einen Einfallwinkel von $14^1/_2$ Grad, mit 1,6 K von $12^3/_4$ Grad. Diese Unterschiede sind aber nur unbedeutend.

71. Schon bei der letzten Besprechung der Parabel hat sich gezeigt, daß die Tangentenwinkel an den einzelnen Bahnpunkten von Wichtigkeit sind für die Beurtheilung der Geschwindigkeiten der Geschosse in verschiedenen Bahntheilen.

Wir wollen deshalb zeigen, wie man sich eine annähernde Vorstellung von ihrer Größe machen kann, und werden daran einige unterhaltende Folgerungen knüpfen.

Wir suchen in der Figur 35 den Tangentenwinkel über dem Punkte 3000 Schritt in der Bahn von 5000 Schritt. Es sei c

Fig. 35.



die Elevation für 5000 Schritt, a der Schwenkungswinkel für 3000 Schritt, b der gesuchte Winkel. Die beiden mit a bezeichneten Winkel sind gleich, also ist der Einfallwinkel für 3000 Schritt = a + b; da ferner die Elevation für 3000 Schritt = c — a und zwar bekannt ist, so ist a leicht zu finden und daraus b, wenn man diesen Winkel im aufsteigenden Aste mit —, im absteigenden mit + behaftet, weil im ersteren der Einfallwinkel kleiner ist als der Tangentenwirkel, im letzteren aber größer. Für die 24 ℔er Granate mit 4 ℔ auf 5000 Schritt haben wir $c = 15^{14}$ für 3000 Schritt, $c - a = 8^{7}$, $a + b$ (Einfallwinkel auf 3000 Schritt), $= 9^{16}$, also $c - (c - a) = a = 15^{14} - 8^{7} = 7^{7}$ und $b = b + a - a = 9^{15} - 7^{7} = 2^{8}$.

Für den Punkt 1600 Schritt ist

$c - a = 4^{2}$, $a - b$ (aufsteigende Ast) $= 4^{9}$, $c = 15^{11}$

also $a = c - (c - a) = 15^{14} - 4^{2} = 11^{12}$, $b = a - (a - b) = 11^{12} - 4^{9} = 7^{3}$.

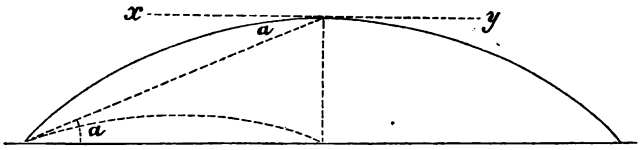
Für den Punkt 800 Schritt ist

$c - a = 2$, $a - b = 2^{1}$, $c = 15^{14}$, $a = 13^{14}$, $b = 11^{13}$.

Die genauen ballistischen Rechnungen geben für 3000 Schritt 2^{10}, 1600 Schritt 7^{7}, 800 Schritt 12^{1} Grad, und zwar sind diese Winkel ein wenig größer als die eben bestimmten.

72. Die wichtige Bedeutung dieser Winkel werden wir noch kennen lernen; jetzt machen wir einen nicht weniger wichtigen Schluß: Für den Kulminationspunkt, wo die augenblickliche Richtung horizontal ist, muß der Winkel b = Null werden; wir müssen also denjenigen Punkt auffuchen, für welchen der Schwenkungswinkel a so groß ist als der Einfallwinkel der zugehörigen kleinen Bahn (Fig. 36).

Fig. 36.



Nennen wir die Bahn für 5000 Schritt oder überhaupt diejenige, deren Kulminationspunkt wir suchen, die Hauptbahn, so erhalten wir folgenden Satz: Man findet die Entfernung des Gipfels als diejenige, für welche in der Schußtafel die Summe von Elevations- und Einfallwinkel gleich der Elevation der Hauptbahn ist.

Beispiele: 1) Für die 24℔er Granate mit 4 Pfund ist die Elevation auf 5000 Schritt 15^{14}; bei 2600 Schritt stehen die Winkel 7^{2} und 8^{4}, ihre Summe ist nur 15^{6}, bei 2700 Schritt stehen 7^{7} und 8^{11}, die Summe 15^{18} ist also zu groß; gehen wir auf die Hälfte, so erhalten wir für 2650 Schritt $7^{4\frac{1}{2}} + 8^{7\frac{1}{2}} = 15^{12}$. Die Granate kulminirt also auf 2650 Schritt und nach der Winkeltabelle in der Höhe von 954 Fuß, während die strenge ballistische Rechnung 2630 Schritt mit 942 Fuß giebt. Daß wir 2650 Schritt finden, liegt in der Abrundung der Schußtafel — nehmen wir auch 2630 Schritt an, so giebt die Winkeltabelle 945 Fuß. Wir haben somit einen strengen Beweis dafür, daß man selbst bei Elevationen von 16 Grad und bei den größten Entfernungen die Bahnen kleinerer Entfernungen in die Hauptbahn geschwenkt denken darf. Ob dies noch für bedeutendere Elevationen stattfinden darf, werden spätere Rechnungen zeigen müssen; da jedoch bei 16 Grad noch kein Fehler sichtbar ist, so dürfen wir die Grenzen jedenfalls bis zu denen der Elevationen unserer Schußtafeln für den flachen Schuß ausdehnen, also vielleicht bis 20 Grad (was denn dasselbe bedeutet, als wenn man sagt, bis etwa 10 Grad sind die Cosinus gleich dem Radius oder vielmehr gleich 1).

2) Die Bahn von 3600 Schritt mit 10^{9} Grad kulminirt auf 1900 Schritt, denn $5 + 5^{10} = 10^{10}$.

3) Bei 6 ℔ Ladung für 7500 Schritt Schußweite mit 20^{12} Grad liegt der Gipfel auf 4050 Schritt ($9^{4\frac{1}{2}} + 11^{8} = 20^{12\frac{1}{2}}$) in der Höhe von ungefähr 2000 Fuß.

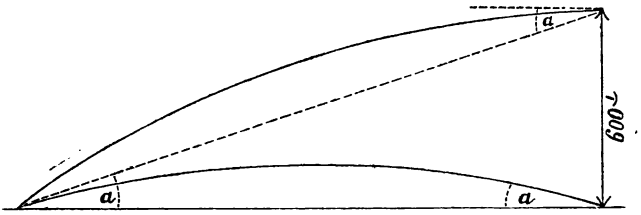
73. 4) Mit der Erweiterung der Kenntniß der Flugbahnen vermehrt sich die Zahl der Aufgaben, welche sich durch diese einfachen

Anschauungen lösen lassen, von denen wir einige als Beispiel aufführen wollen:

Wie muß man sich aufstellen, um mit 6 ℔ aus dem 24 ℔er die Mauer einer 600 Fuß hoch liegenden Burg nahehin horizontal zu treffen oder eben zu überschießen?

Offenbar haben wir die Bahn zu suchen, welche auf ungefähr 600 Fuß Höhe kulminirt, oder: Wir haben (Figur 37) die Bahn zu suchen, welche bei einem Schwenkungswinkel a gleich dem Ein-

Fig. 37.



fallwinkel die Höhe von 600 Fuß ergiebt. Zu dem Zwecke verschaffe man sich eine Anschauung von den Terrainwinkeln, welche 600 Fuß Höhe geben, und da die Winkeltabellen nur bis 50 Fuß gehen, so geschieht dies mittelst der Tabelle für 50, indem man die Entfernungen mit $\frac{600}{50} = 12$ multiplizirt; gleichzeitig sehe man in die Schußtafel, um zu erkennennen, ob eine so ermittelte Entfernung den Einfallwinkel gleich diesem Terrainwinkel hat. Nämlich:

Winkeltabelle (für 50 Fuß);		Schußtafel für 6 ℔.	
Entfernung	Terrainwinkel	Entfernung	Einfallwinkel.
$180 . 12 = 2160$	6^{10}	2160	5

Dies paßt nicht, also weiter:

$190 . 12 = 2280$	6^{4}	2280	5^{7}
$200 . 12 = 2400$	5^{15}	2400	5^{13}

diese Uebereinstimmung, welche man freilich noch näher bringen kann, ist hinreichend. Die Bahn für 2400 aufwärts geschwenkt, ist der aufsteigende Ast derjenigen Bahn, welche die Elevation gleich der Summe von Elevation und Einfallwinkel für 2400 Schritt hat, also $4^{14} + 5^{13} = 10^{11}$. Die Lösung ist somit: Wir stellen uns auf 2400 Schritt Entfernung auf und feuern mit 10^{11} Grad (das ist mit der Elevation von 4500 Schritt).

5) Die Höhe betrage 1500 Fuß. Dann nimmt man auch

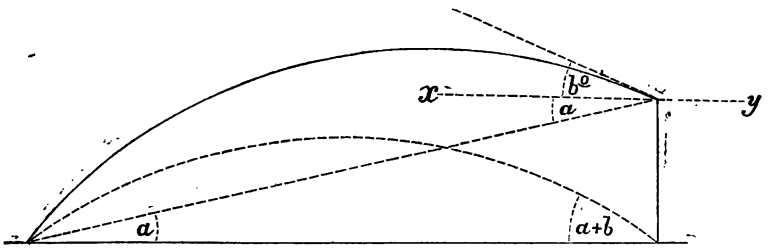
die Tabelle von 50 Fuß und multiplizirt die Entfernungen mit $\frac{1500}{50} = 30$.

Winkeltabelle (für 50 Fuß);		Schußtafel (für 6 ℔).	
Entfernung	Terrainwinkel	Entfernung	Einfallwinkel.
$130 . 30 = 3900$	9^2	3900	10^{15}
Die Entfernung ist zu groß			
$100 . 30 = 3000$	11^{12}	3000	7^{12}
Die Entfernung ist zu klein			
$115 . 30 = 3450$	10^4	3450	5^5
$120 . 30 = 3600$	9^{14}	3600	9^{14}

Die Elevation ist $8 + 9^{11} = 17^{14}$ Grad.

74. 6) Wir können dies noch weiter ausbeuten und thun es im Interesse der Wissenschaft durch folgende Beispiele: Die eben besprochene Bahn soll in der Höhe von 600 Fuß nicht horizontal gehen, sondern im absteigenden Aste mit der Horizontalen einen Winkel bilden von 2 oder b Grad bilden (Fig. 38).

Fig. 38.



Das Verfahren ist dasselbe wie vorhin, nur haben wir diejenige Entfernung aufzusuchen, deren Einfallwinkel gleich der Summe des Terrainwinkels und der gegebenen 2 oder b Grad ist.

Winkeltabelle (für 50 Fuß);		Schußtafel (für 6 ℔).	
Entfernung	Terrainwinkel	Entfernung	Einfallwinkel.
$250 . 12 = 3000$	$4^{12} + 2 = 6^{12}$	2900	7^{12}

Die Entfernung ist zu groß, weil mit dem Wachsen derselben die Terrainwinkel abnehmen, die Einfallwinkel aber wachsen.

$240 . 12 = 2880$	$4^{15} + 2 = 6^{15}$	2900	7^7
$235 . 12 = 2820$	$5^1 + 2 = 7$	2800	7^1

die Entfernung ist also 2820 Schritt und die Elevation gleich a + Elevation für 2320 Schritt $= 5^1 + 5^{11} = 10^{15}$. Die Bahn ist also ein Stück von der auf 4550 Schritt.

7) Der Tangentenwinkel betrage 5 Grad; wir erhalten Entfernung 3420 Schritt, Elevation 11^{10} Grad.

8) Der Tangentenwinkel betrage 10 Grad; wir erhalten:
Entfernung 4500 Schritt,
Elevation 13^{3} Grad.

Anmerkung: Wenngleich der Gebrauch des Aufſatzes uns von der Berückſichtigung des Terrainwinkels unabhängig macht, ſo iſt dadurch dieſer Winkel doch nicht beſeitigt. So finden wir unter 6., daß die Bahn eigentlich auf 4550 Schritt reicht, unter 7. ſogar auf 4800 und unter 8. auf 5300 Schritt. Daraus ergiebt ſich, daß wir bei vielleicht gar nicht großen Entfernungen an die Grenze der Elevationsfähigkeit unſerer Laffeten kommen, und daß es dann den Anſchein hat, als könnten wir das gegebene Ziel nicht erreichen. Das iſt aber nur ſcheinbar, denn ſo lange die Erhöhung nicht über 40 Grad geht, werden die Schußweiten mit den Elevationen größer. Hat ein ſolches Schießen nach der Höhe einen ernſten Zweck, ſo muß ſich die nöthige Erhöhung erreichen laſſen, und zwar kann man den Laffetenſchwanz ohne große Mühe ſo tief eingraben, daß man auch bei Feldgeſchützen noch immer 30 Grad erhält, wodurch die Schußweite faſt eine Meile, unter Umſtänden noch weiter geſtreckt wird. Man verſenke den Laffetenſchwanz ſo tief, bis man über Viſir und Korn nach dem Höhe-Ziel ſieht, dann noch ein wenig mehr, um die Richtſchraube in der Gewalt zu behalten, und verwende unbekümmert den richtigen Aufſatz oder die zu dem Terrainwinkel addirte Elevation.

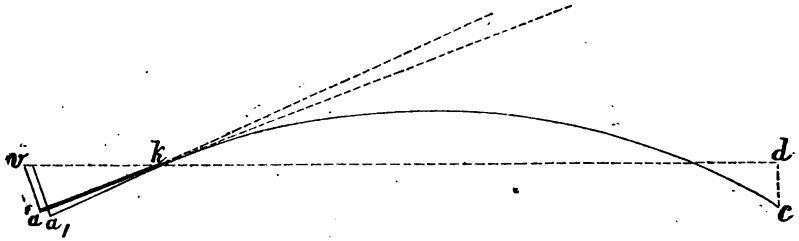
e. Zeichnung einer Flugbahn auf Grund der in der Schußtafel vorgeſchriebenen Aufſätze.

75. Wir haben geſehen, daß wir bei allen Bahnen unſerer Geſchütze, welche nicht Elevationen haben, die bedeutend über 16 Grad gehen, jeden Theil derſelben um die Geſchützmündung auf- oder abwärts geſchwenkt denken dürfen, und daß wir dieſe Schwenkungen ohne Berückſichtigung der Terrainwinkel mittelſt des Richtens über den Aufſatz ausführen können.

Auf das Letztere ſind die in den Schußtafeln aufgeführten Korrekturmittel für die Verlegung des Treffpunktes noch oben oder unten geſtützt, und auf beides gründen wir jetzt die Zeichnung der Flugbahnen.

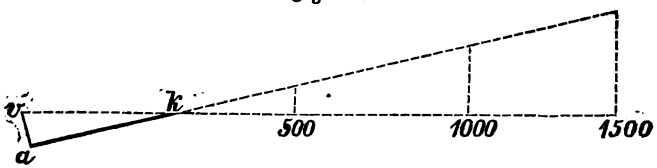
Wenn wir bei der Richtung über den Aufſatz a v (Fig. 39)

Fig. 39.



nach d in c treffen, so liegt der Treffpunkt zu tief. Wir müssen das Rohr etwas mehr elevіren, um nach d zu treffen. Es ist aber bequem, den einmal gewählten Zielpunkt festzuhalten. Wir müssen also, um das Rohr in die Richtung a_1 k zu bringen und dennoch nach d zielen zu dürfen, den Aufsatz etwas verlängern, und das Maß, um welches dies geschehen muß, läßt sich leicht ermitteln.

Fig. 40.



Bedeute v a (Fig. 40) 1 Sechzehntel Zoll Aufsatz, so wird die Richtung der Seelenachse a k auf 500 Schritt ein gewisses Maß von der Horizontalen abweichen, auf 1000 Schritt doppelt, auf 1500 Schritt dreimal so viel u. s. w. Dasselbe findet statt, zwischen zwei Richtungen, von denen die erste auch nicht horizontal war. Ist v a = $^2/_{16}$, so wird die Abweichung doppelt, bei v a = $^8/_{16}$ dreimal so groß sein u. s. w. Die Größe hängt von der Länge der Visirlinie ab, z. B. bei 75 Zoll erhalten wir

75 Zoll : 500 Schritt = $^1/_{16}$ Zoll : x Fuß oder
75 " : 500 . 2,4 Fuß = $^1/_{16}$ " : 1 "

Auf diese Weise erhalten wir die Rubrik der Schußtafeln: „$^1/_{16}$ Zoll Aufsatz resp. Seitenverschiebung verlegt den Treffpunkt nach der Höhe resp. Seite um Fuß." (Bei der Verlegung des Treffpunkts nach rechts oder links verhält es sich ebenso, wie hier gezeigt wurde).

Die Größe einer Veränderung durch mehrere Sechzehntel Zoll erhält man natürlich durch Multiplikation dieser Anzahl mit der bei der betreffenden Entfernung für $^1/_{16}$ Zoll angegebenen Verän-

derung. Folgende Regel giebt für alle Röhre den Einfluß der Veränderung durch $^1/_{16}$ Zoll Aufſatz: beim

24Äer $^4/_3$ mal ſo viel Fuß, als die Entfernung Tauſende Schritt iſt,

eiſernen 12Äer $^{10}/_7$ mal ſo viel Fuß, als die Entferung Tauſende Schritt iſt,

bronzenen 12Äer 2 mal ſo viel Fuß, als die Entfernung Tauſende Schritt iſt,

eiſernen 6Äer 2 mal ſo viel Fuß, als die Entfernung Tauſende Schritt iſt,

gußſtählernen 6Äer mit Kolben, nahe 2 mal ſo viel Fuß, als die Entfernung Tauſende Schritt iſt

6Äer c/64 und 4Äer 4 mal ſo viel Fuß, als die Entfernung Tauſende Schritt iſt

z. B. beim 4Äer

500	Schritt =	$^1/_2$	Tauſend	giebt	$4 . {}^1/_2 = 2$	Fuß
1000	" = 1	"	"		$4 . 1 = 4$	"
1500	" = $1^1/_2$	"	"		$4 . 1^1/_2 = 6$	"
2400	" = 2,4	"	"		$4 . 2{,}4 = 9{,}6$	"
3700	" = 3,7	"	"		$4 . 3{,}7 = 14{,}8$	"

Noch einfacher als mittelſt der Winkeltabelle würden ſich nun Ordinaten einer Flugbahn ergeben, wenn wir aus der Schußtafel die Differenzen der Aufſätze für die Hauptbahnen und für die eingeſchwenkten Bahnen entnehmen und für dieſe und die entſprechenden Entfernungen die Schwenkungshöhen ermitteln:

Beiſpiel: Bahn des Feld 6Äers c/64 mit 1,4 Pfund Ladung auf 12 Schritt — $^{23}/_{16}$ Zoll Aufſatz.

Entfernung. Schritt.	Aufſatz. $^1/_{16}$ Zoll.	Differenz gegen den Aufſatz von 1200 Schritt. $^1/_{16}$ Zoll.	Veränderung durch $^1/_{16}$ Zoll. Fuß.	Höhe des Bahnpunktes. Fuß.
200	3	20	0,8	16
400	7	16	1,7	27,2
600	11	12	2,5	30
800	15	8	3,3	26,4
1000	19	4	4,2	16,8
1200	23	0	5,0	0

Bahn des 4Äers mit 1 Pfund Ladung auf 800 Schritt — $^{14}/_{16}$ Zoll Aufſatz.

Entfernung. Schritt.	Aufsatz. 1/16 Zoll.	Differenz gegen den Aufsatz von 1200 Schritt. 1/16 Zoll.	Veränderung durch 1/16 Zoll. Fuß.	Höhe des Bahnpunktes. Fuß.
100	2	12	0,4	4,8
200	3	11	0,8	8,8
300	5	9	1,2	10,8
400	7	7	1,6	11,2
500	8	6	2,0	12,0
600	10	4	2,4	9,6
700	12	2	2,8	5,6
800	14	0	3,2	0

77. Knüpfen wir hieran die Bemerkung, daß wir in den beiden Rubriken der Schußtafel: „Aufsatz und Erhöhung" eine kleine Winkeltabelle besitzen, aus welcher man leicht ersehen kann, wie groß die trigometrische Tangente eines Winkels ist, oder aus welcher wir dieselben Ermittelungen herleiten können, wie aus der größeren Winkeltabelle, welche letztere man bei Benutzung der Spezialschußtafeln ja nicht immer zur Hand hat. Es ist wieder darauf aufmerksam zu machen, ob die besprochenen $1\frac{1}{2}$ Sechzehntel bei dem Aufsatze in Anrechnung zu bringen sind.

Beispiele:

1) Man will wissen, wie groß die Tangente des Winkels $10\frac{1}{2}$ Grad ist? Man habe die Schußtafel des bronzenen 12 ℔ers zur Hand und sucht nun unter „Erhöhung" an irgend einer Stelle den Winkel $10\frac{8}{16}$ z. B. unter 1 Pfund. Daneben steht der Aufsatz $14\frac{1}{2}$ und da hiervon $\frac{1\frac{1}{2}}{16}$ abzuziehen ist, so sind für die Visirlinie von 75 Zoll $10\frac{1}{2}$ Grad $= 14^3$ Zoll. Die Tangente ist also $\frac{14^3}{75} = \frac{14 \cdot 16 + 3}{16 \cdot 75} = \frac{227}{1200} = 0{,}19$.

2) Die Entfernung eines Punktes ist 2000 Schritt, der mit dem Geschütz und Quadranten gemessene Terrainwinkel ist $3\frac{5}{16}$ Grad; wie hoch liegt der Punkt über der Geschützmündung? Man habe die Schußtafel des 24 ℔ers und findet unter 4 Pfund 3^5 Grad $= 6^{11}\frac{1}{2}$ Zoll, davon ist $1\frac{1}{2}$ abzuziehen, wodurch wir 6^{10} erhalten; wir setzen jetzt 113,5 Zoll: 2000 Schritt $= 6^{10}$ Zoll : x Fuß, oder

$113{,}5 : 2000 \,.\, 2{,}4 = \frac{106}{16} : x$ und finden dann

$x = 282$.

Merkt man sich die oben gegebenen Verhältnisse zwischen Graden und Zollen z. B. beim 24Ässer mit 113,5 Zoll Visirlinie 1 : 2, so kann man diese Rechnungen ohne weitere Hülfsmittel ausführen.

Noch bequemer ist es, sich zu merken, daß bei 56 Zoll oder 4½ Fuß sehr nahe 1 Zoll gleich 1 Grad ist, z. B. 450 Fuß Länge und 100 Zoll Höhe geben 450 : 4,5 = 100 : 1 Grad oder 30 Fuß Länge und 17 Zoll Höhe geben 30 : 4,5 = 17 : 2,505 Grad.

f. Der bestrichene Raum.

78. Für alle Fälle der Artillerie-Praxis interessirt uns am meisten der letzte Theil der Flugbahn und zwar für solche Geschütze, welche bestimmt sind, gegen Menschen zu kämpfen, besonders der Theil, welcher unterhalb einer Höhe von 6 Fuß oder von 9 Fuß liegt, je nachdem die zu bekämpfende Mannschaft Infanterie oder Kavallerie ist. Bekanntlich hängt der Werth der Feldgeschütze neben der Höhe ihrer Trefffähigkeit von der Ausdehnung dieses sogenannten bestrichenen Raumes ab. Die Bestimmung desselben ist dadurch sehr leicht gemacht, daß man den betreffenden Theil der Flugbahn, welcher meist nur unbedeutend ist, als gerade betrachten darf.

Fig. 41.

Ist c b (Fig. 41) die Höhe von 6 Fuß, die Linie c a gerade und der Winkel c a b der Einfallwinkel, so läßt sich die Länge a b des bestrichenen Raumes mittelst der Winkeltabelle oder mittelst der vorhin gegebenen Beziehungen zwischen Aufsatz und Erhöhung leicht bestimmen.

Beispiel: Der Einfallwinkel des eisernen 6Ässers ist auf 1000 Schritt 2^4 Grad, die Visirlinie ist 75 Zoll. Nun sind 3 Grad = 4 Zoll, also 2^4 Grad = $\frac{36}{16} \cdot \frac{4}{3}$ Zoll und dann

$\frac{36}{16} \cdot \frac{4}{3}$ Zoll: 6 Fuß = 75 Zoll: x Fuß, woraus x = 150 Fuß = 62½ Schritt gefunden wird.

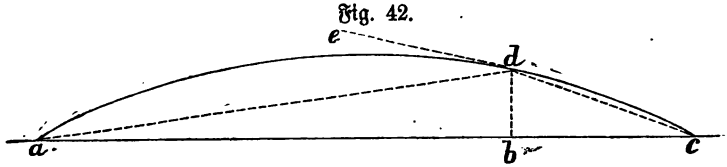
Sucht man die entsprechende Länge für 9 Fuß, so hat man die für 6 Fuß gefundene Zahl mit 1½ zu multipliziren.

Man erkennt aus der Vorstellung der Flugbahnen, daß in Wirklichkeit a c nicht gerade ist, und daß wir dann nicht a b, sondern a c berechnen. Der bestrichene Raum ist also in Wirklichkeit größer als er hier gefunden wird; indessen ist dieses Mehr für die hier in Betracht genommenen Höhen ohne jede Bedeutung. Denkt man die Bahn mit ganz kleinen Elevationen oder für geringe Entfernungen, so ist sogar möglich, daß die ganze Bahn im bestrichenen Raume liegt, wobei wir noch keineswegs nur an wagerechte Schüsse zu denken haben, welche überhaupt nur darum eine Entfernung ergeben, weil die Geschützmündung einige Fuß über dem Erdboden liegt und das Geschoß so lange vorwärts geht, als die diesen Fußen angehörige Fallzeit gestattet.

Ein anderes Mittel, die bestrichenen Räume zu finden, würde das sein, eine Flugbahn durch die gegebenen Andeutungen zu zeichnen und daran die Ordinate von 6 oder 9 Fuß Höhe zu bestimmen. Dieses Mittel ist unbequem.

79. Ist nun die Aufgabe gestellt, für eine beliebige Höhe den Theil der Bahn anzugeben, welcher unterhalb derselben liegt, so müssen wir auch die Lösung verallgemeinern.

Fig. 42.



Seien für eine beliebige Bahn a d c (Fig. 42) die Höhe d b gegeben und die Länge b c gesucht, so ist die Aufgabe durch die Erinnerung gelöst, daß der Sehnenwinkel d c b gleich dem Tangenten-Sehnenwinkel e d a gefunden wurde. Wir fragen also: Zu welchem Theile a b der horizontalen Entfernung a c gehört ein solcher Einfallwinkel, welcher gleich dem durch b c und b d aus der Winkeltabelle bestimmten Winkel ist? Hier kann b d natürlich jede beliebige Länge bis zur Gipfelhöhe haben. Wir wählen einige Beispiele, welche zugleich als Beweismittel dienen sollen, weil uns ein gewichtiger Zweifel an der Richtigkeit entgegentritt. Wäre nämlich d der Gipfel, also die Tangente e d horizontal und so-

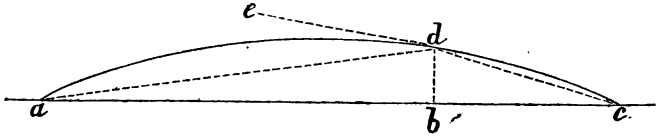
mit parallel a b, so müßte auch Winkel e d a = d a b = b c d sein, d. h. da der Entfernung a b und dem Winkel b a d die Höhe d b und gleichzeitig der Entfernung b c und dem Winkel b c d dieselbe Höhe entspricht, so müßte a b = b c sein oder das Geschoß müßte in der Mitte der Bahn kulminiren. Das ist aber offenbar nicht richtig. Es erklärt sich dies aus unserer Vorstellung der Bahn als Kreislinie. Nun haben wir durch den Vergleich mit ballistischen Rechnungen die Richtigkeit von dem Zusammenfallen der in eine und dieselbe Hauptbahn geschwenkten Bahnen bewiesen, und wenn wir die eben gegebene Lösung der jetzigen Aufgabe auf dieselbe Weise zu bestätigen suchen, so liegt dies im Widerspruch mit der Thatsache, daß der Gipfel nicht in der Mitte liegt. Der Satz von dem Schwenken der Bahnen ist nämlich so darzustellen: Für dieselbe Anfangsgeschwindigkeit gleicher Geschosse sind beim Vergleiche je zweier Bahnen die Stücke, welche gleichen Wegstrecken entsprechen, als kongruent zu betrachten, aber der noch hinzukommende Theil der höheren Bahn hat eine kürzere oder stärkere Krümmung als jene kongruenten Stücke, und diese Verstärkung der Krümmung steigert sich in den folgenden höher liegenden Bahnen, so daß also der kongruente Theil zweier Bahnen nur unabhängig von dem letzten Ende der höhern Bahn zu betrachten ist. Wir haben also jetzt zu zeigen, wie weit wir demnach den letzten Theil der Bahn mit in die Betrachtung ziehen dürfen, indem wir die Resultate unserer Lösung mit denen der strengen Rechnung vergleichen:

In der „Ballistik der gezogenen Geschütze" haben wir zwei Bahnen auf 2000 Schritt gezeichnet, von denen die eine der 24 Zer Granate mit 4 Pfund, die andere der 6 Zer mit 1,2 angehört. Beim 24 Zer ergab sich die

Ordinate für 1339 Schritt vom Nullpunkte gleich 103,7 Fuß,
für 1674 „ gleich 64,8 Fuß,
beim 6 Zer für 1230 „ „ 102,3 „ und
für 1641 „ „ 67,5 „

1) Werde jetzt der bestrichene Raum der 24 Zer Granate mit 4 Pfund in der Höhe 65 Fuß gesucht, welcher nach Obigem 2000 — 1674 = 3260 Schritt sein muß. Ausführung nach der Schuß-

Fig. 43.



tafel: Sei verſuchsweiſe (Fig. 43.) a b = 1500 Schritt, ſo wird b c = 500 Schritt, und da bei 1500 der Einfallwinkel 4^4 Grad iſt, ſo ſollen 500 Schritt und 65 Fuß denſelben Winkel 4^4 Grad ergeben (wobei wir das Verhältniß 500 : 65 auf 100 : 13 reduciren) der Winkel b c d wird aber nur 3^2 Grad; folglich müſſen wir weiter vorgehen. 1700 Schritt, W. a d e = 4^{15}, b c = 300, W. b c d = 5^3. Der Winkel iſt zu groß; ſetzen wir

1600 Schritt, W. a d e = 4^9, b c = 400, W. b c d = 3^{14}, zu klein.

Dadurch werden die Grenzen ſchon enger. Der Unterſchied der Einfallwinkel für 1600 und 1700 Schritt beträgt $^6/_{16}$ Grad; zerlegen wir 100 Schritt in 4 mal 25, finden wir nun

1625 Schritt, W. a d e = $4^{10\frac{1}{2}}$, b c = 375, W. b c d = 4^2, zu klein
1650 „ „ „ a d e = 4^{12}, b c = 350, „ b c d = 4^7, zu klein
1675 „ „ „ a d e = $4^{13\frac{1}{2}}$, b c = 325, „ b c d = 4^{12}.

Durch dieſes Verfahren iſt die Aufgabe alſo hinreichend genau gelöſt. Für die anderen Beiſpiele ſetzen wir die Ausrechnung her:

2) b d ſei 104 Fuß, ſo ſoll b c = 661 Schritt gefunden werden:

1300 Schritt, W. a d e = 3^9, b c = 700, W. b c d = 3^9.

Die Genauigkeit geht alſo hier nur auf 700 — 661 = 39 Schritt, und der Grund iſt der, daß wir von dem gekrümmteren Theile der Bahn von 2000 Schritt auf die Bahn von 1300 Schritt ſchließen und bei ſolchen Unterſchieden alſo die ſtärkere Krümmung nicht überſehen dürfen. Bei der Beſtimmung des Gipfels war dies durchaus anders, da wir uns um den letzten Theil der Bahn gar nicht, ſondern nur um den mit einer kürzeren Bahn zuſammenfallenden Theil kümmern.

3) Beim 6Ller mit 1,2 Pfund Ladung ſei b d = 67½ Fuß, dann ſoll b c = 360 Schritt gefunden werden. 1600 Schritt, W. a d e = 4^1, b c = 400, W. b c d = 4^1. Beim 6Ller tritt ganz nach den Geſetzen der Ueberwindung des Luftwiderſtandes dieſe Abweichung noch früher ein als beim 24Ller.

4) b d ſei 102,3 Fuß, ſo ſoll b c = 770 Schritt gefunden werden:

1200 Schritt, W. a d e = 2^{13}, b c = 800, W. b c d = 3^1 zu groß
1150 „ „ a d e = 2^{11}, b c = 850, „ b c d = 2^{13} zu groß
1125 „ „ a d e = 2^{10}, b c = 875, „ b c d = 2^{11}.

Wir würden hier einen Fehler von etwa 100 Schritt erhalten, den wir aber auf ſehr einfache Weiſe beſeitigen können, wenn wir vom Anfange der Bahn ausgehen. Man ſollte denken, es wäre ſehr leicht, dieſe ganze Aufgabe durch die früheren Mittel für

das Zeichnen einer Flugbahn direkt zu lösen. Dies ist aber nicht der Fall, weil uns für die Schwenkung einer Bahn weder die Länge noch die Elevation gegeben. Wir bedürfen die eben dargestellte allgemeine Lösung, um uns über die ungefähre Lage der gegebenen Ordinate zu orientiren. Da wir jetzt wissen, daß wir immer den bestrichenen Raum zu groß finden, so ist uns die Richtung einer Korrektur bezeichnet; also das letzte Beispiel: (eiserner 6Zer) Aufsatz für 2000 Schritt $= 6^2$ Zoll, für 1150 Schritt $= 3^5$ Zoll, Differenz $= 2^{13}$ oder $\frac{45}{16}$; nun bewirkt $1/16$ Zoll auf 1150 Schritt eine Höhenänderung von 2,3 Fuß, also $\frac{45}{16}$ geben: 103,5, etwas zu viel, 1200 Schritt geben in ähnlicher Weise $102\frac{1}{2}$ Fuß, und 1230 Schritt geben 102,3 Fuß. Man erkennt leicht, daß speciell dieses Beispiel sich nicht genau lösen läßt, weil wir so nahe in die Gegend der Kulmination gekommen sind, daß die Richtung des Fluges noch fast horizontal ist. Nehmen wir deshalb das andere Beispiel, wo b d $= 67\frac{1}{2}$ Fuß sein soll. Nach dem Obigen müssen wir hier von 1600 Fuß ausgehen:

Aufsatz für 2000 Schritt $= 6^2$, für 1600 Schritt $= 4^{12}$, Differenz $- 1^6 = \frac{22}{16}$; $\frac{1}{16}$ bewirkt 3,2 also $\frac{22}{16} = 70{,}2$, zu groß. Aufsatz für 1650 Schritt $= 4^{14\frac{1}{2}}$, Differenz $= 1^{3\frac{1}{2}} = \frac{19\frac{1}{2}}{19}$; $\frac{1}{16}$ bewirkt 3,3, also $\frac{19\frac{1}{2}}{16} = 64{,}3$ und so finden wir zwischen 1600 und 1650 genauer 1630 Schritt, den bestrichenen Raum also 2000 — 1630 = 370 statt 360, wie die Rechnung verlangt. (Ueberraschend genau.)

Diese Aufgabe haben wir nicht der praktischen Wichtigkeit wegen besprochen, sondern um an einer neuen Probe zu zeigen, wie genau wir auf Grund der Schußtafeln die Flugbahnen können kennen lernen, wie weit die Annahme über das Schwenken der Bahnen richtig ist, und daß man nur bei nicht großen Längenunterschieden zweier Bahnen dem letzten Theile der längeren darf die Eigenschaften der ganzen Bahnen beilegen, daß aber alle Sätze genau richtig sind, welche wir aus jener Annahme beim Ausgange von dem gemeinschaftlichen Anfangspunkte ableiten.

80. Hiernach kehren wir zu einigen Bemerkungen über den eigentlichen bestrichenen Raum zurück, welcher unterhalb 6 oder 9 Fuß liegt. Wir erkennen, daß alle Umstände den bestrichenen Raum verkleinern, welche die Einfallwinkel wachsen machen. Also: die bestrichenen Räume werden kleiner:

1) mit dem Wachſen der Entfernungen,
2) mit der Verkleinerung der Anfangsgeſchwindigkeiten und
3) mit der Abnahme des Vermögens, den Luftwiderſtand zu überwinden.

In Betreff der Entfernung ergiebt ſich für die Artilleriepraxis, daß die Wahrſcheinlichkeit, ein Ziel von Menſchenhöhe ohne beträchtliche Tiefe zu treffen, mit der Entfernung immer geringer wird, ohne annehmen zu müſſen, daß ein Rohr auf großen Entfernungen entſchieden ſchlechter ſchieße. Die Abnahme der beſtrichenen Räume durch Verringerung der Anfangsgeſchwindigkeiten führt uns zu einem Vergleiche mit den glatten Geſchützen. Man wirft nämlich den gezogenen Geſchützen vor, daß ihre Bahnen nicht ſo beſtreichend ſind als die der glatten Geſchütze, und Mancher hält dies wohl für eine Eigenthümlichkeit der neuen Artillerie. Dies iſt aber durchaus nicht richtig. Geben wir unſern gezogenen Röhren mehr Kraft, ſo werden auch die Bahnen geſtreckter werden, und zwar um ſo mehr, als ſchon in Bezug auf den dritten Punkt bei wachſenden Entfernungen die Flugbahnen aus glatten Röhren weniger beſtreichend ſind als die aus gezogenen, wenn auch erſtere durch bedeutendere Anfangsgeſchwindigkeiten entſtanden ſind. Warum wir unſern Geſchoſſen nicht größere Geſchwindigkeiten durch ſtärkere Ladungen geben, liegt theils in der Sorge für die Erhaltung der Röhre, theils aber in der ſchon früher beſprochenen Eigenthümlichkeit der Hinterlader, daß es nicht immer in unſerer Gewalt liegt, die Geſchwindigkeiten über ein gewiſſes Maß zu ſteigern, inſofern einerſeits der Verbrennungsraum nur eine beſtimmte größte Ladung aufnehmen kann und andererſeits die Vergrößerung dieſes Raumes auch bei Anwendung größerer Ladungen nicht unbedingt zu größeren Geſchwindigkeiten führt. Immerhin liegt aber die Möglichkeit vor, die Bahnen noch beſtreichender zu machen, wenn wir es auf Koſten der Haltbarkeit der Geſchütze erreichen wollten, eine Rückſicht, welche die Zukunft wohl weniger bedeutend machen wird.

81. Da die Einfallwinkel direkt abhängig ſind von dem Wachſen der Erhöhungen, ſo kann man aus dem Vergleiche der Schußtafeln zweier Geſchütze ſich ein Urtheil darüber bilden, welches die am meiſten beſtreichenden Bahnen giebt, wenn man auch die Einfallwinkel nicht kennt. Haben wir die Schußtafel eines fremdherrlichen Feldgeſchützes, ſo werden wir bei jeder beliebigen Entfernung den Unterſchied zweier auf einander folgender Elevationen mit dem entſprechenden unſrer Schußtafeln vergleichen und daraus ſchließen, daß die Entfernungen größere beſtrichene Räume geben, oder gleiche oder kleinere, bei denen die Elevationen langſamer, gleich oder ſchneller

wachſen, als es bei uns der Fall iſt. Dazu kann man natürlich nicht die Aufſätze verwenden, ſondern nur die Winkel, weil die Viſirlinie nicht gleich und die Geſchütze oft nicht einmal verglichen ſind.

Beiſpiel: 6Zer c/64 mit 1,4 Pfund, 4Zer mit 1 Pfund Ladung.

Die Schußtafeln zeigen, daß der 4Zer auf den gewöhnlichen Gefechtsentfernungen bis etwa 2500 Schritt fortwährend etwas größere beſtrichene Räume giebt als der 6Zer; das Verhältniß kehrt dann auf größere Entfernungen um, zu Gunſten des 6Zers, was allerdings wenig praktiſche Bedeutung hat.

Vergleicht man in dieſer Hinſicht den Granatſchuß des Feld-12Zers bei Pfeilſtrich unten mit jedem anderen Geſchütze, ſo ſieht man ſeine Ueberlegenheit in der Größe der beſtrichenen Räume, welche allerdings durch geringe Schußweiten und große Streuungen bald paralyſirt und überwunden wird.*)

C. Das Beſchießen gedeckt liegender Ziele oder der indirekte Schuß.

82. In den vorigen Abſchnitten haben wir die Schußtafeln, ſo weit ſie nicht auf die Rotation der Geſchoſſe rückſichtigen, kennen gelernt und aus ihnen die Geſtalt der Flugbahnen unſerer Geſchoſſe abgeleitet.

Wir wollen jetzt zu der Anwendung übergehen, für welche wir überhaupt Schußtafeln von ſolcher Ausdehnung bedürfen. In einem folgenden Abſchnitte werden wir beſprechen, wie weit wir auf die Sicherheit der Wirkung rechnen dürfen; jetzt wollen wir aber die Geſetzmäßigkeit der Flugbahnen, welche wir kennen gelernt haben, als unwandelbar anſehen. Unter dieſer Vorausſetzung kann es nicht ſchwer ſein, die Aufgabe zu löſen, durch drei in einer ſenkrechten Ebene gegebene Punkte eine Flugbahn zu legen. Es handelt ſich dann offenbar nur darum, diejenige Elevation und Ladung eines Rohres zu beſtimmen, welche für den beſonderen Fall anzuwenden ſind.

Denken wir uns nämlich ein Reduit hinter einer deckenden Bruſtwehr liegend und unſer Geſchütz in einer davor befindlichen Kikoſchetbatterie, ſo iſt die Geſchützmündung der Anfangspunkt der zu beſtimmenden Flugbahn, ein gewiſſer nicht direkt ſehbarer Punkt des Reduit ein zweiter, und zwiſchen ihnen ein freiliegender Punkt der innern Krete der deckenden Bruſtwehr der dritte Beſtimmungspunkt. Wir wiſſen, daß eine Bahn um ſo gekrümmter iſt, je ge-

*) Die öſterr. Feldgeſchütze geben auf große Entf. kleinere beſtr. R. als die unſrigen.

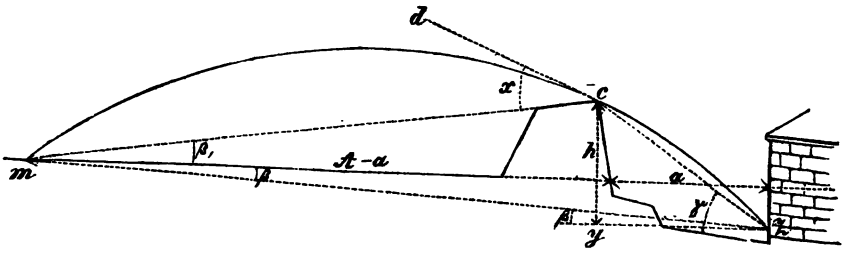
ringer die verwendete Ladung war, und daß also umgekehrt ein Geschoß mit um so geringerer Kraft das Ziel treffen wird, je gekrümmter die Bahn sein muß. Daraus geht hervor, daß wir für das Beschießen gedeckt liegender Ziele danach zu streben haben, die Bahn nach Möglichkeit flach zu machen, um eben die irgend erreichbare Kraft zu gewinnen.

83. Aus der Artilleriepraxis ist bekannt, daß man jede Mauer auf $^1/_3$ ihrer Höhe zu durchbrechen sucht, um durch den Einsturz der oberen $^2/_3$ einen verwendbaren Aufgang zu erhalten. Beim indirekten Schusse ist hierauf nicht mit Bestimmtheit zu rechnen, auch ist der zu erreichende Zweck gewöhnlich der einfache Durchbruch der Mauer, um die dahinter stehende Besatzung zu vertreiben.

Jedenfalls ersieht man aber, daß es immer einen Punkt des Reduit giebt, dessen Zerstörung wünschenswerth ist. Diesen Punkt nennt man den beabsichtigten Treffpunkt. Um die Flugbahn dann möglichst flach zu machen, so ist natürlich die Krete der Brustwehr so tief oder nahe zu überschießen, als es überhaupt für ein Treffen des Reduit noch zulässig ist; deshalb sagt man: die Flugbahn ist bestimmt durch die Geschützmündung, den beabsichtigten Treffpunkt am Reduit und durch einen Punkt der Krete der deckenden Brustwehr. Die Geschützmündung und der Punkt in der Krete sind bei gegebener Entfernung unveränderlich, der beabsichtigte Treffpunkt kann aber seine Lage wechseln, weil er willkürlich ist. Behalten wir nun die Bestimmung, auf $^1/_3$ der Mauerhöhe zu treffen, so heißt dieser Punkt der tiefste beabsichtigte Treffpunkt. Unter diesen zu treffen ist, sobald die Flugbahn einmal bestimmt wurde, nicht mehr möglich, weil jede tiefer liegende Bahn in die Krone der Brustwehr gehen wird.

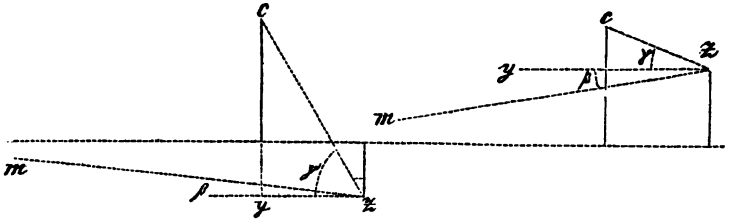
84. Um unsere Aufgabe ganz bestimmt auszudrücken, giebt man als Endpunkt der Bahn einen tiefsten beabsichtigten Treffpunkt, und dadurch ist man leicht überzeugt, daß die Wahl der Elevation und Ladung nächst der ganzen Entfernung vorzüglich abhängig ist von der Lage jenes Treffpunktes in Bezug auf die Krete der Brustwehr. Man kann sich vorstellen, daß die horizontale Entfernung dieses Punktes von der Krete, die senkrechte Tiefe unter und die gerade Verbindungslinie mit derselben ein rechtwinkliges Dreieck bilden, in welchem der dem Reduit zunächst liegende spitze Winkel bestimmt wird durch jene beiden ersteren Längen. Dieser Winkel, welchen wir, wie in Figur 44, mit dem Buchstaben γ bezeichnen, wird von allen Festungs-Baumeistern besonders ins Auge gefaßt, weil mit seiner Größe die Schwierigkeit, das Reduit zu treffen, wächst.

Fig. 44



85. Es sei nun die ganze horizontale Entfernung des Reduit vom Geschütze A, die Entfernung y z des Reduit von der Krete a, so ist die Entfernung der Krete vom Geschütze A — a; ferner sei der Terrainwinkel, welcher der Krete c in Bezug auf die Geschützmündung m entspricht, gleich β_1, dagegen der des beabsichtigten Treffpunktes durch β ausgedrückt. Der Winkel β ist als Wechselwinkel zwischen Parallelen auch gleich dem Winkel m z y, welcher mit dem Winkel m z c zusammen den Winkel γ bildet. Der Winkel m z c ist in der Bahn m c z ein Sehnenwinkel, welcher den vor der Krete liegenden Bogen m c einschließt.

Fig. 45.



Vergegenwärtigen wir uns nun nach Figur 45, daß der Punkt z sowohl höher als m, als auch tiefer liegen kann, so sehen wir, daß im ersteren Falle Winkel m z c $= \gamma + \beta$, im zweiten gleich $\gamma - \beta$ ist. Nach dem schon oben erwähnten Satze vom Kreise, muß der Sehnen-Tangentenwinkel m c d oder x gleich dem Sehnenwinkel m z c sein, und so erhalten wir den Ausspruch der Schußtafel, daß immer $x = \gamma + \beta$, wenn z höher liegt als m, und $x = \gamma - \beta$, wenn z tiefer liegt als m. Der Winkel x ist anzusehen als der Einfallwinkel einer über m z gespannten Bahn, welche aufwärts geschwenkt aus einer Bahn über A — a mit dem Einfallwinkel x entstanden ist.

Daraus erhalten wir für die Bestimmung von Ladung und Elevation beim indirekten Schuß das in der Schußtafel angegebene erste Verfahren:

„Man ermittelt mit Hülfe der Formel $x = \gamma + \beta$ den Winkel x und sucht in der Schußtafel des betreffenden Geschützes diejenige Ladung auf, bei welcher für die Entfernung der Krete der deckenden Brustwehr vom Geschütz $= A - a$ der Fallwinkel ebenso groß oder etwas größer als der Winkel x ist."

Steht die Entfernung $A - a$ nicht direkt in der Schußtafel, so genügt eine einfache Vergleichung der für die nächstliegenden Entfernungen angegebenen Fallwinkel mit dem Winkel x, um zu erkennen, ob die zu prüfende Ladung zutrifft oder nicht.

In der Praxis richtet man dann mit dem nebenstehenden Aufsatz (Seitenverschiebung) nach der Krete der deckenden Brustwehr, wodurch man ja die Bahn um den Terrainwinkel β der Krete aufwärts schwenkt — will man aber mit dem Quadranten richten, so ist β_1 zu ermitteln und zu der in der Schußtafel stehenden Erhöhung α zu addiren, so daß die anzuwendende Elevation gleich $\alpha + \beta_1$ wird.

Der Winkel β_1 kann mittelst der Winkeltabelle aus der Entfernung $A - a$ und der Höhe von c über dem Horizonte ermittelt werden. Er kann aber auch, wie es in der Praxis geschieht, direkt durch den Quadranten an dem über Visir und Korn nach der Krete gerichteten Rohre gemessen werden. Dies letztere ist insofern wichtiger, als man mittelst des Winkels β_1 und der Entfernung $A - a$ aus der Winkeltabelle die oft unbekannte Ueberhöhung der Krete oder andrerseits aus der bekannten Ueberhöhung die Entfernung finden kann. Die Ueberhöhung der Krete über den tiefsten beabsichtigten Treffpunkt und damit der Winkel γ ist aus Festungsplänen, und dazu der Terrainwinkel β jenes Treffpunktes aus der Lage desselben zum Horizonte der Geschützmündung und der Entfernung A mittelst der Winkeltabelle zu bestimmen, worüber wir jedoch noch zu sprechen haben werden.

Wir wollen dieses Verfahren an einigen Beispielen darstellen und zugleich, wenigstens theoretisch, die ungünstigsten Umstände betrachten — möge der Leser das herausnehmen, was er für praktisch hält.

Wenigstens werden wir erkennen, daß es keine Aufgabe giebt, welche man mit Hülfe unserer Schußtafeln nicht lösen könnte.

Erstes Beispiel:

86. Es sei A die Entfernung des Reduit vom Geschütze = 1500 Schritt, a die Entfernung des Reduit von der Krete 100

Schritt, also A — a die Entfernung der Krete vom Geschütz 1400 Schritt. (Wir bemerken hier, daß eine genauere Bestimmung der Entfernung der Krete vom Geschütze, als sie die Schußtafel verlangt, nämlich auf 50 Schritt, für die Praxis nicht nöthig ist, daß also Interpelationen auszuschließen sind). Der Winkel sei $7^5/_{16}$ Grad, $\beta = + {}^4/_{16}$ Grad (das Ziel liege also höher als die Geschützmündung) $\beta^1 = {}^6/_{16}$ Grad.

Dann ist $x = \gamma + \beta = 5^5/_{16} + {}^1/_{16} = 5^9/_{16}$ Grad der Einfallwinkel für 1400 Schritt. Die Batterie bestehe aus einem eisernen 6 Ø'er, einem bronzenen 12 Ø'er und einem 24 Ø'er. Wir gehen zunächst in die Schußtafel des 6 Ø'ers, sehen unter irgend einer Ladung z. B. 1 Pfund den Fallwinkel bei 1400 Schritt gleich $4^4/_{16}$ Grad; der Winkel ist zu klein, die Ladung also zu groß; bei 0,9 Pfund finden wir $4^{13}/_{16}$ Grad, bei 0,8 Pfund $5^8/_{16}$ Grad, bei 0,7 Pfund $6^6/_{16}$ Grad. Die meiste Annäherung giebt 0,8 Pfund; die Regel sagt aber: man nehme diejenige Ladung, welche den Fallwinkel nächst größer giebt, als der Winkel x ist; also wählen wir 0,7 Pfund. Die zugehörige Elevation ist $5^{11}/_{16}$; die Bahn muß aber aufwärts geschwenkt werden um $\beta_1 = {}^6/_{16}$ Grad, also ist die richtige Elevation $6^1/_{16}$ Grad.*) Der Aufsatz macht es uns aber bequemer, indem wir uns um β_1

*) Wir wollen mit dieser Methode diejenige vergleichen, aus welcher sie ursprünglich entstanden ist. In der „Abhandlung über das Schießen und Werfen aus Geschützen" (Berlin 1855) beweist Herr General von Neumann auf Seite 116 folgende Formel: $tg\ (\alpha + \delta) = tg\ \beta + tg\ \beta, + tg\ \gamma$, wo δ den Unterschied zwischen dem Richtungs- und dem Einfallwinkel, also $\alpha + \delta$ den Einfallwinkel selbst, die übrigen Buchstaben aber dieselben Winkel bezeichnen, wie hier. Für solche Winkel, wie sie bei dieser Aufgabe zur Anwendung kommen, darf man die Tangente mit dem Arkus vertauschen, so daß wir die Formel erhalten $(\alpha + \delta) = \beta + \beta, + \gamma$. In dem obigen Beispiele ist $\beta + \beta + \gamma = 5\ {}^{15}/_{16}$ Grad der Einfallwinkel für 1500 Schritt; wir finden diesen Winkel unter der Ladung 0,8 Ø. Nehmen wir aber die nächst kleinere Ladung, so finden wir auch hier 0,7 Ø mit $6^1/_{16}$ Grad Elevation. Vergleichen wir jetzt unsere Fig. 49, so zeigt sich auch hier, daß der Einfallwinkel als Sehnen-Tangentenwinkel gleich der Summe der Winkel β, β, und γ ist. Man sieht also, daß die ganze Parabel-Theorie mit ihren für die Praxis gebotenen Abkürzungen nichts als die Kreis-Theorie übrig läßt. Herr Professor Aschenborn giebt in seinem „Lehrbuch der Geometrie, Abschnitt: Kegelschnitte," Seite 439 auch eine Herleitung der Formel und zeigt in einem Beispiele, welches ungefähr dem unsrigen entspricht, daß der durch die Vernachlässigung der Tangenten begangene Fehler nur 26 Sekunden beträgt. Die Verwendung der Formel $x = \gamma \pm \beta$ rührt unsers Wissens vom Herrn Major Willerding her (Schußtafeln von 1856). Sie hat den entschiedenen Vortheil, daß sie sich auf die direkt meßbare Entfernung der Krete und den Gebrauch des Aufsatzes stützt.

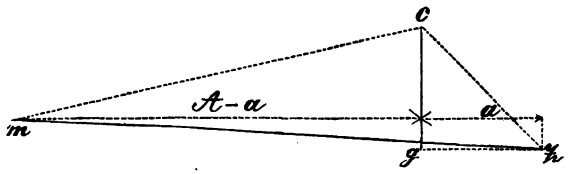
gar nicht zu kümmern haben, sondern mit dem Aufsatz von 1400 Schritt $7\frac{8\frac{1}{2}}{16}$ Zoll und $3\frac{1}{2}$ Seitenverschiebung direkt nach der Krete richten.

Der 12Æer braucht ungefähr die doppelte Ladung und zwar 1,5 Pfund.

Der 24Æer würde die 4fache Ladung fordern, also 2,8 Pfund; dafür erhalten wir den Einfallwinkel $5\frac{9}{16}$ Grad. Wir haben schon früher gesehen, daß die nächst kleinere Ladung dem 6Æer besser entspricht. So giebt auch 2,6 Pfund den Einfallwinkel $5\frac{15}{16}$ Grad, und da es immer besser ist, zu Anfang etwas zu kurz zu schießen, so wählen wir 2,6 Pfund.

Zweites Beispiel:

Fig. 46.



87. Die Entfernung A — a betrage 1170 Schritt, die Höhe h = c g (Fig. 46) der Krete über dem tiefsten Treffpunkte 20 Fuß und die entsprechende Entfernung a sei 65 Schritt. Wir messen mit dem Quadranten den Terrainwinkel der Krete $\beta_1 = \frac{5}{16}$ Grad, A — a = 1170, wozu eine Ueberhöhung der Krete über die Geschützmündung von 14 bis 16 Fuß gehört. Daraus sehen wir, daß das Ziel z 20 — (14 bis 16) oder 6 bis 4 Fuß unter der Geschützmündung liegt und die Winkeltabelle giebt für A = 1170 + 65 oder 1235 Schritt und 6 bis 4 Fuß den Terrainwinkel $\beta = \frac{2}{16}$ Grad, während aus 65 Schritt und 20 Fuß der Winkel $\beta = 7\frac{5}{16}$ Grad hervorgeht.

Es ist also $x = 7\frac{5}{16} - \frac{2}{16} = 7\frac{3}{16}$ Grad (weil z tiefer liegt als m), und so finden wir für den 6Æer 0,5 Pfund, für den 12Æer 1 Pfund, für den 24Æer 1 Pfund.

Die Ladungen sind sehr klein, weil das Ziel sehr tief liegt. Man sieht aber an diesem Beispiele, daß man in den meisten Fällen den Winkel β ohne Weiteres vernachlässigen kann.

Drittes Beispiel.

88. Wir haben nicht immer Reduits, sondern wie im gedeckten Wege oder auf dem Wallgange hinter eine 7 Fuß hohe Brustwehr vor die erste Traverse zu treffen. Es ist hier zu be-

achten, daß unsere neuen Granaten nicht wie die der glatten Geschütze weitere Sprünge machen, also nicht eigentlich einen Rikoschettschuß geben.

Betrage die Entfernung A — a nun 1600 Schritt und die Entfernung der nächsten Traverse 30 Schritt, so daß wir also auf etwa 20 bis 25 Schritte hinter die Brustwehr treffen wollen.

Bei einer so großen Entfernung ist β durchaus zu vernachläßigen. Der Winkel γ ergiebt sich aus 20 Schritt und 7 Fuß gleich $8^5/_{16}$ Grad, und so würde auch $x = 8^5/_{16}$ Grad sein. Dann verlangt der 6ℳer 0,6 Pfund, der 12ℳer 1,2 Pfund, der 24ℳer 2,2 Pfund oder 2 Pfund.

Aus Allem ersieht man, daß diese Ladungen sehr klein werden, wenn das Ziel sehr nahe und tief hinter der Brustwehr liegt und daß die Kanonen ihre Aufgabe meist nur von großen Entfernungen her werden erfüllen können. Es wird also von größter Wichtigkeit sein, die Rikoschettbatterien durch Mörser zu unterstützen. Ist ein Reduit zur Geschützvertheidigung, also zur Wirkung ins Vorterrain, eingerichtet, so gestalten sich die Verhältnisse natürlich auch günstiger für den Angreifer.

Viertes Beispiel:

89. Die Entfernung A — a betrage 1200 Schritt, die Entfernung a sei 50 Schritt und die Ueberhöhung h sei 10 Fuß, in welchem Falle der Angreifer wohl noch die Decke des Reduit sehen könnte. Es ergiebt sich $\gamma + x = 4^5/_{16}$ Grad. Dann verlangt der 6ℳer 0,8 Pfund, der 12ℳer 1,6 Pfund, der 24ℳer 3 Pfund Ladung, wie sie zum Geschützkampfe sowohl in Bezug auf Wirkung als auf Treffwahrscheinlichkeit mindestens erforderlich sind.

Es ist höchst wichtig, wiederholt zu beachten, daß wir von dem Terrainwinkel der Krete bei der Bestimmung der Ladung durchaus unabhängig sind. Indessen kann dieser Winkel doch von Bedeutung werden, wenn wir aus Festungsplänen keinen Aufschluß erhalten.

Fünftes Beispiel:

90. Gesetzt wir ständen einem Walle auf einer nichtgekannten Entfernung gegenüber, so könnten wir diese wohl durch geometrische Mittel finden; wir können uns aber auch leicht darüber aufklären durch einige Probeschüsse mit der Gebrauchsladung — die Entfernung betrage 1300 Schritt.

Wir wollen mindestens 50 Schritt hinter die Brustwehr treffen. Der Quadrant ergebe den Terrainwinkel $\beta_1 = {}^7/_{16}$ Grad; den Winkel β müssen wir außer Acht lassen, d. h. wir setzen das Ziel in den Horizont der Geschützmündung, was um so richtiger

geſchehen darf, als bei bedeutender Höhe der Krete über der Geſchützmündung das Ziel höher liegen wird als dieſe letztere, wodurch wir dann näher hinter die Bruſtwehr treffen. Die Winkeltabelle giebt die Ueberhöhung der Krete über das Geſchütz für 1300 Schritt und $^7/_{16}$ Grad gleich 24 Fuß; aus 24 Fuß und 50 Schritt ergiebt ſich $\gamma = 11^5/_{16}$ Grad.

Dieſen Werth ſetzen wir für x und finden beim 6 Zoller 0,4 Pfund Ladung.

91. Wir wollen hieran einige Worte knüpfen über den ſogenannten hohen Bogenſchuß der Feldgeſchütze. Die Feld-Artillerie befindet bei Anwendung des indirekten Schuſſes ſich immer in der Lage, die Profilverhältniſſe feindlicher Deckungen nicht zu kennen. Außerdem iſt ihre Aufgabe weniger die, durch großen Kraftaufwand gedeckte Geſchütze zu demontiren, als vielmehr die Beſatzung zu vernichten oder zu vertreiben. Die Mannſchaften werden aber immer ſich nahe hinter der Bruſtwehr befinden, und aus dieſem Grunde ſind im Felde für den indirekten Schuß ſolche Ladungen zu verwenden, welche unter Umſtänden ſehr nahe hinter die Deckung treffen laſſen.

Der Zweck erfordert auch nicht die höchſten Leiſtungen in Bezug auf die Trefffähigkeit, und man würde darum ſo kleine Ladungen wählen dürfen, als die Schußweiten nur irgend geſtatten.

Es wird aber eine Grenze nothwendig:

1) durch die Elevationsfähigkeit des Rohres in einer beſtimmten Laffete, und
2) durch die Bedingung, daß die treffende Granate nicht zu tief in das Erdreich dringe, um ſo nicht einen großen Theil ihrer Sprengwirkung zu verlieren. Als die Grenze der Einfallwinkel ſieht man darum 15 bis 16 Grad an. Das Ueberwerfen der deckenden Bruſtwehr und der möglichſt nahe Aufſchlag hinter derſelben verlangen einen Einfallwinkel von mindeſtens 5 bis 6 Grad.

Die Schußweiten begrenzt man durch die Bedingungen:

1) auf der kleinſten Entfernung der größten Wirkſamkeit des Kleingewehrfeuers entzogen zu ſein, wodurch man etwa 600 Schritt erhält,
2) auf möglichſt großen Entfernungen an allen Gefechtslagen noch theilnehmen zu können, alſo 2000 bis 2500 Schritt. Dadurch wird alſo eine Ladung bedingt, welche auf 600 Schritt einen Einfallwinkel von mindeſtens 5 bis 6 Grad ergiebt — dieſe Ladung kann aber nicht gleichzeitig der Forderung genügen, auf 2000 Schritt oder darüber nicht größere

Einfallwinkel als 15 bis 16 Grad zu geben. Es wird eine zweite Ladung erforderlich, welche sich dadurch bestimmt, daß sie bei dem Einfallwinkel von 5 bis 6 Grad sich an die Schußweiten der kleinsten Ladung in der Weise anschließt, daß es möglich ist, die Grenzschußweite beider Ladungen nach Belieben mit der einen oder der anderen derselben zu erreichen — oder die Schußtafeln beider Ladungen greifen einige hundert Schritt über einander.

92. Die Anwendung der Ladungen erfordert außer an dieser gemeinschaftlichen Grenze keiner besonderen Ueberlegung. Betrachten wir z. B. die Schußtafel des 6ℳers mit Kolbenverschluß, so unterliegt es keinem Zweifel, daß wir von 600 bis 900 Schritt 0,3 ℳ, von 1300 bis 2000 Schritt 0,5 ℳ anzuwenden haben. Die Ladungen greifen über von 1000 bis 1200 Schritt — welche Ladung ist hier zu wählen? Darüber giebt die den Schußtafeln zugefügte Bemerkung Aufschluß:

„Beim Schießen nach der Höhe wird der Fallwinkel um den Terrainwinkel kleiner; beim Schießen nach der Tiefe wächst der Fallwinkel um den Terrainwinkel.“ Dieser Bemerkung liegt die Voraussetzung zu Grunde, daß der Hof oder das Innere der Schanze horizontal sei, wie a b und c d in den Figuren 47 und 48, aus

Fig. 47.

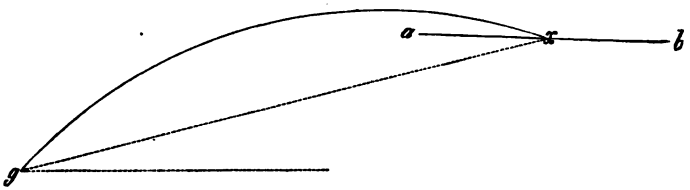
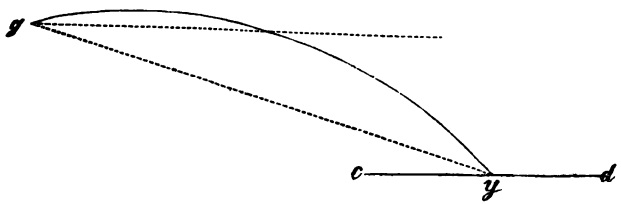


Fig. 48.



welchen die Richtigkeit des Satzes sich durch bloße Anschauung ergiebt. Die Folgerung würde also sein:

„Wenn eine Entfernung durch zwei Ladungen zu erreichen

ist, so wählt man die kleinere, wenn das Ziel höher liegt als die Geschützmündung, dagegen die größere, wenn das Ziel tiefer liegt."

Jener Satz bedarf aber einer sehr wichtigen Beschränkung, wenn es sich bei Anwendung der großen Gebrauchsladung um die Wahl handelt, ob ein Feind nach der Höhe oder der Tiefe zu beschießen sei. Befindet sich der Feind über uns, so wird das Terrain, welches zu ihm führt, gewöhnlich ein ansteigendes sein, im entgegengesetzten Falle ein sich senkendes. Da es bei der großen Ladung darauf ankommt, möglichst flache Bahnen, also möglichst kleine Einfallwinkel zu erhalten, so müssen wir uns die Figuren 49 und 50

Fig. 49.

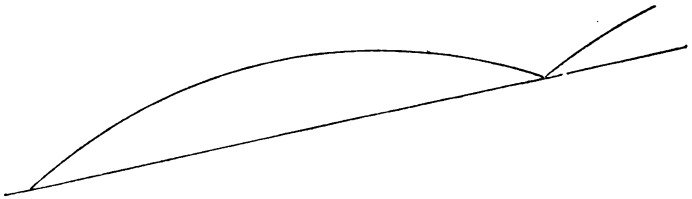
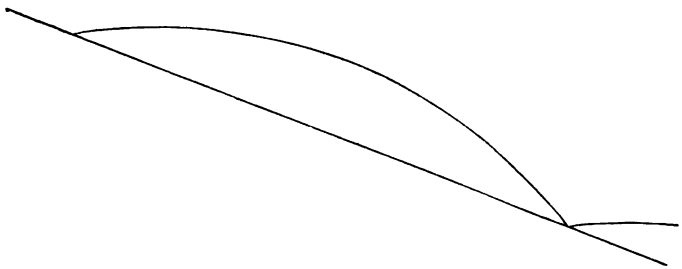


Fig. 50.



vorstellen, um daraus zu erkennen, daß, wenn unsere Annahme der Schwenkbarkeit der Flugbahnen richtig ist, es ganz gleichgültig sein muß, ob wir nach der Höhe oder Tiefe schießen, und daß nur der Vortheil, welcher in der Beobachtung von oben nach unten liegt, entscheidend ist. Hiermit ist nicht das Schießen nach unebenem Terrain zu verwechseln, wobei die Gefahr entsteht, die Sprengwirkung vernichtet zu sehen, — dabei ist es gleichgültig, ob das Terrain steigt oder fällt.

93. Nicht unter allen Umständen wird man beim hohen Bogenschuß von dem Richten über den Aufsatz Gebrauch machen

können, um von dem Einflusse des Terrainwinkels unabhängig zu sein. Man wird also auf Entfernungen, für welche kein Aufsatz angegeben ist, zuerst den Terrainwinkel messen müssen, indem man das Rohr über Visir und Korn nach dem Ziele, welches immer die innere Krete der deckenden Brustwehr ist, richtet und die Elevation oder Inklination durch den Quadranten ermittelt. Elevation oder ein positiver Terrainwinkel wird der vorgeschriebenen Elevation addirt, Inklination aber subtrahirt. Dann wird man einen künstlichen Zielpunkt wählen, den Aufsatz danach einrichten und durch weitere Anwendung desselben sich von der Berücksichtigung des Terrainwinkels unabhängig machen.

Für die Praxis bemerken wir hier, daß solche Terrainwinkel, welche nach der Schußtafel den Treffpunkt nicht mindestens um 50 Schritt verlegen, nicht zu berücksichtigen sind, daß vielmehr der Ausgleich der etwa nöthigen Korrektur überlassen wird.

Dies würde also bedeuten, daß man sich bei der kleinsten Ladung um Terrainwinkel, welche kleiner als $^1/_2$ Grad, bei der größeren um solche unter $^1/_4$ Grad nicht kümmert.

Zweites Verfahren für die Bestimmung von Ladung und Elevation.

Fig. 51.

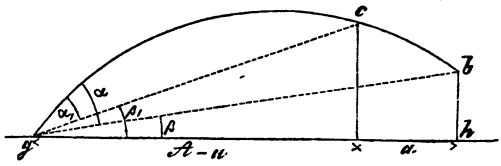
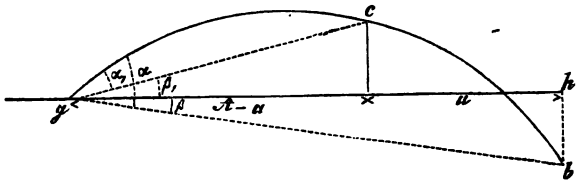


Fig. 52.



94. Wenn die Erhöhung für die Entfernung A — a (Fig. 51 und 52) ist, so haben wir den Terrainwinkel β_1 zu α zu addiren, um die Krete c zu treffen, und wenn α die Erhöhung für die Ent-

fernung g h oder A ist, so muß zu α der Terrainwinkel β des beabsichtigten Treffpunktes b addirt oder davon subtrahirt werden, um b zu treffen, je nachdem b höher oder tiefer liegt als die Geschützmündung g. Beide Bahnen, die für c mit der Elevation $\alpha_1 + \beta_1$ und die für b mit der Elevation $\alpha \pm \beta$, sollen zusammenfallen, d. h. es muß sein

$$\alpha_1 + \beta_1 = \alpha \pm \beta$$

und daraus folgt

$$\alpha - \alpha_1 = \beta_1 \mp \beta.$$

Diese Formel begründet folgendes Verfahren:

„Man sucht in der betreffenden Schußtafel diejenige Ladung auf, bei welcher der Unterschied der Erhöhungswinkel ebenso groß oder nächst größer ist, als $\beta_1 \pm \beta$ ($+ \beta$, wenn der tiefste Treffpunkt tiefer, und $- \beta$, wenn er höher liegt als die Geschützmündung).

Liegt die Entfernung A oder A — a zwischen den in den Schußtafeln angegebenen, so ist der betreffende Erhöhungswinkel durch Interpolation zu ermitteln."

Schon aus den Vorbemerkungen zu den allgemeinen Schußtafeln geht hervor, daß dieses Verfahren nur ein unbestimmtes Resultat giebt, und deshalb eigentlich nicht gut verwendbar ist. In der That ist auch nicht zu ersehen, warum dem ersten Verfahren nicht der Vorzug gegeben werden sollte, da es offenbar nicht weniger leicht verständlich ist, da es uns von der Kenntniß der Profilverhältnisse nicht mehr abhängig macht, und da es, wie wir gesehen haben, eine bestimmte Antwort giebt.

Das zweite Verfahren ist aber durch ein Beispiel zu erläutern, da es in einigen Büchern, wie unter anderen in der Bayerischen Schußtafel, als einziges Verfahren aufgeführt ist.

95. Der 24Ger habe ein Ziel zu beschießen, welches 75 Schritt hinter der 1200 Schritt entfernten Brustwehr liegt. Der Terrainwinkel β_1 der Krete betrage $^3/_{16}$ Grad, und sie selbst liege 15 Fuß höher als der tiefste beabsichtigte Treffpunkt.

Für $\beta_1 = {}^3/_{16}$ und 1200 Schritt ergiebt die Winkeltabelle die Höhe der Krete über dem Horizonte der Geschützmündung 9 Fuß, also die Versenkung des tiefsten beabsichtigten Treffpunktes unter diesen Horizont 6 Fuß. Daraus folgt für 1275 Schritt der Terrainwinkel $\beta = {}^2/_{16}$ Grad. Wir haben also $\beta_1 + \beta$ zu bilden und erhalten somit als Differenz der Elevationen für 1200 und 1275 Schritt $\alpha - \alpha_1 = {}^3/_{16} + {}^2/_{16} = {}^5/_{16}$ Grad. Die Schußtafel ergiebt

bei	α_1 für 1200 Schritt.	α für 1275 Schritt.	$\alpha - \alpha_1$
2,2 ℔	5^{15} Grad.	6^{5}	6
2,4 ℔	5^{6} =	5^{12}	6
2,6 ℔	4^{15} =	5^{4}	5
2,8 ℔	4^{9} =	$4^{13\,1/2}$	$4^{1}/_{2}$
3 ℔	4^{4} =	$4^{8\,1/2}$	$4^{1}/_{2}$
3,2 ℔	3^{15} =	$4^{3\,1/2}$	$4^{1}/_{2}$.

Man würde hier 2,6 ℔ zu wählen haben.

Zufällig ist bei einer einzigen Ladung die Differenz $\alpha - \alpha_1 = {}^{5}/_{16}$ Grad. In einem andern Falle, wenn z. B. $\alpha - \alpha_1 = {}^{6}/_{16}$ oder $\frac{4^{1}/_{2}}{16}$ betrüge, würde eine so bestimmte Antwort nicht erfolgen. Der Grund liegt allerdings nicht in der Methode, aber dem Bedürfnisse entsprechend sind die Angaben der Schußtafeln nur auf Sechzehntel Grad abgerundet. Man muß deshalb diejenige Ladung wählen, bei welcher nicht allein zufällig für eine bestimmte Entfernung die gesuchte Differenz sich ergiebt, sondern bei welcher aus dem Vergleiche mehrerer Entfernungen jene Differenz sich am entschiedensten gesetzmäßig ausdrückt.

Wenden wir hier das erste Verfahren an, so wird Winkel γ aus 75 Schritt und 15 Fuß gleich 4^{12} Grad, dazu kommt β mit ${}^{2}/_{16}$ Grad (welcher Winkel aber bei diesem Verfahren vernachläßigt werden kann, da die Differenzen der Einfallwinkel von Ladung zu Ladung bedeutend genug sind). Der Einfallwinkel x für 1200 Schritt muß also sein 4^{14} Grad. Bei 2,8 Pfund Ladung ist x $= 4^{11}$, bei 2,6 Pfund gleich 5 Grad. Hier ist über die Wahl der Ladung kein Zweifel.

Drittes Verfahren.

Fig. 53.

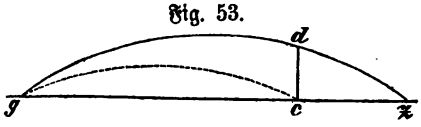


Fig. 54.

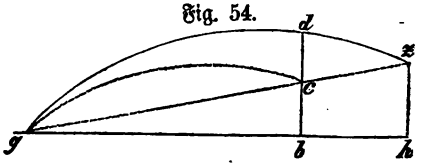
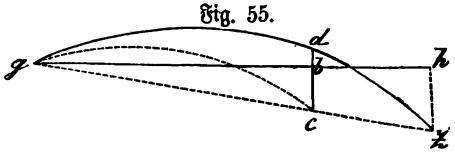


Fig. 55.



96. Sind in den Fig. 53, 54 und 55 g c und g d z je zwei Bahnen, welche denselben Ladungen angehören, so erhält man die Bahn g d z, indem man nach c mit so viel mehr Aufsatz richtet als der Entfernung g c und der Höhe c d entspricht. In der Praxis richtet man nur mit dem Aufsatz für g c auf den Punkt d. Die Weite des Aufschlages hinter c hängt dann von der Größe der Ladung ab; umgekehrt bestimmt sich die Ladung aus der Weite dieses Aufschlages, wenn sie, wie in unserem Falle, eine bestimmte sein soll. Eine andere Bedingung ist dann, daß für diese Ladung der Aufsatzunterschied zwischen den Bahnen g c und g d z genau so groß ist, daß die der Anzahl Sechzehntel und der Entfernung g c entsprechende Erhöhung des Zielpunktes gleich c d ist, z. B. bei g c = 1200 Schritt $^6/_{16}$ Aufsatz Differenz für den 24ßer 6 . 1,6 = 9,6 Fuß. Ist diese Höhe c d gegeben z. B. 15 Fuß, so schließen wir daraus, daß die Aufsatzdifferenz für 1200 Schritt betragen muß $\frac{15}{1,6} = 9^1/_2$ Sechzehntel.

Es ergiebt sich hieraus das dritte Verfahren:

„Man ermittele den Abstand c d der Krete der deckenden Brustwehr von der, von der Geschützmündung nach dem beabsichtigten tiefsten Treffpunkte gedachten geraden Linie (g c z) und suche diejenige Ladung auf, bei welcher die Differenz der Aufsätze für die Entfernungen A und A — a den Treffpunkt (auf der Entfernung A — a) nach der Höhe um eben so viel oder etwas mehr verlegt als der vorerwähnte Abstand beträgt."

Kennt man diesen Abstand, so ist es leicht die entsprechende Differenz der Aufsätze zu finden, wie wir eben gezeigt haben, denn der Einfluß der Aufsatzveränderung ist bei allen Ladungen für gleiche Entfernungen gleich und nur bestimmt durch die Länge der Visirlinie des Geschützes.

Für die Ermittelung der Höhe c d beachten wir, daß dieselbe aus zwei Abschnitten besteht, b d und b c, nämlich in Figur 54 ist c d = b d — b c, in Figur 55 b d + b c, wo b d die Höhe der Krete über der Geschützmündung ist und b c besonders berechnet werden muß. Die Dreiecke g c b und g z h sind ähnlich und ergeben die Proportion g b : g h = b b : h z oder auch g c : g z = b c : h z.

Die Linie h z ist die Höhe des beabsichtigten Treffpunktes über oder unter der Geschützmündung.

97. Beispiel: Vorhin war A = 1275 Schritt, A — a

= 1200 Schritt, d höher als die Geschützmündung 9 Fuß, z tiefer als dieselbe 6 Fuß. Daraus giebt obige Proportion:

1200 : 12,75 = b c : 6, und somit b c = 5,65 Fuß, also c d = b d + b c = 9 + 5,65 = 14,65 Fuß. Beim 24℔er verlegt auf 1200 Schritt $^1/_{16}$ Zoll Aufsatz den Treffpunkt um 1,6 Fuß, folglich verlangen 14,65 Fuß $\frac{14,65}{1,6}$ = 9 Sechzehntel Zoll.

Man findet nun in der Schußtafel folgende Aufsätze:

	1200 Schritt	1275 Schritt	Unterschied.
2,4 ℔	$10^{13\,1/2}$	$11^{9\,1/2}$	12
2,6 ℔	9^{15}	$10^{9\,1/2}$	$10^{1/2}$
2,8 ℔	9^{3}	$9^{12\,1/2}$	$9^{1/2}$
3 ℔	8^{8}	8^{1}	9
3,2 ℔	7^{15}	$8^{7\,1/2}$	$8^{1/2}$

Wir würden hier 3 oder 2,8 Pfund zu wählen haben; man sieht also, daß dieses Mittel, obgleich theoretisch interessant, keinen praktischen Werth hat, weil es unsere Fragen nur unbestimmt beantwortet. Ebenso hat es eine andere Unbequemlichkeit, die darin besteht, daß es Interpolationen durchaus nöthig macht, während das erste Verfahren, wie es naturgemäß ist, sich um Entfernungsdifferenzen unter 25 Schritt nicht kümmert. Nämlich haben wir z. B. für die Entfernung der Krete 1270 Schritt zu rechnen, so wählen wir 1250, und so 1300 für 1280 Schritt. In einem späteren Abschnitte dieser Arbeit werden wir nämlich nachzuweisen suchen, daß geringere Differenzen namentlich für den ersten Schuß gar keine praktische Bedeutung haben.

98. Nach dem bisherigen Vortrage sind nun alle die Fragen beantwortet, welche sich auf die Gestalt der Flugbahnen beziehen, insofern wir vorläufig von der durch die Deviation bedingten seitlichen Krümmung absehen.

Bevor wir aber dazu schreiten, nächst der Form die inneren Eigenschaften der Flugbahnen zu besprechen, wird es nöthig sein, einige Bemerkungen hinzuzufügen über die Verwendung dieser Art des Schießens.

Unzweifelhaft wird bei dem heutigen und zukünftigen Stande der Artillerie, wenn man nicht hinfort Festungen aus den größten Entfernungen bombardirt (wie selbstverständlich einer angreifenden Flotte kein anderes Mittel zur Verfügung steht) der indirekte Schuß eine bedeutende Rolle spielen. Der Vertheidiger wird nach Möglichkeit alles Mauerwerk durch schützende Wälle vor dem Auge des Feindes blenden, der Belagerer wird auf Entfernungen, welche sich

möglichſt der Einſicht entziehen, nach Kräften ſeine Geſchütze zu decken ſuchen. Man wird alſo gegen permanente, wie gegen Feldbefeſtigungen vielfachen Gebrauch von dem indirekten Schuſſe machen müſſen. Namentlich gegen die Arbeiten des Belagerers wird man ſehr Geringes leiſten, wenn man nur beabſichtigt, ſeine Erdwerke zu zerſtören; jeder Morgen wird ſeine Batterien ausgebeſſert erſcheinen laſſen, wenn es nicht gelingt, die dahinter ſtehenden Geſchütze zu demontiren oder die Bedienung zu verjagen. Es iſt gewiß zu beachten, daß der Vertheidiger in hohem Grade ſeine Munition ſparſam verwalten muß.

Erfahrungsmäßig ſind nun nur 24 Ⓒer Granaten im Stande, einem Erdwerke bedeutende Beſchädigungen zuzufügen, während die der kleineren Kaliber leicht erſtickt werden, namentlich wenn ſie ſehr tief eindringen. Dadurch ergiebt ſich für den Vertheidiger die Nothwendigkeit, entſchieden zu vermeiden, kleinere als 24 Ⓒer Granaten mit ihrer ſtarken Gebrauchsladung direkt in die feindlichen Batterien zu ſchießen. Vielmehr wird es erforderlich, möglichſt dicht hinter die deckende Bruſtwehr zu treffen.

Der letzte Krieg, der erſte, in welchem wir aus guten gezogenen Geſchützen beſchoſſen wurden, hat zur Genüge gezeigt, daß die Beſchädigung durch Sprengſtücke ſehr gering iſt in der unmittelbaren Umgebung des Aufſchlagepunktes. Darin liegt ein zweiter Grund, feindliche Belagerungsbatterien mit kleinen Ladungen zu beſchießen, um alſo erſtens möglichſt große Einfallwinkel zu erreichen, zweitens die Geſchoſſe zum Liegenbleiben zu bringen und drittens zu große Eindringungstiefen zu vermeiden.

Es darf dies um ſo mehr geſchehen, als es weniger auf Treffſicherheit als darauf ankommt, die genaue Kenntniß der Flugbahnen unſerer Geſchoſſe zur Vermeidung unnützen Munitionsverbrauches auszubeuten.

Selbſtverſtändlich kann es ſich hier nicht um die künſtliche Beſtimmung von Ladung und Elevation handeln; vielmehr hat dieſes Schießen den Charakter des hohen Bogenſchuſſes der Feldgeſchütze, und es dürfte ſich empfehlen, den Vertheidigungsgeſchützen leichteren Kalibers von vornherein eine ſtarke Ausrüſtung mit kleinen Ladungen zu geben. Es würde ſich daraus herleiten, daß dieſe Geſchütze den eigentlichen Artilleriekampf zu vermeiden, und ihn den 24 Ⓒern zu überlaſſen haben, welche, wenn ſie von Bronze oder Gußſtahl ſind, nöthigenfalls von ihren größten Ladungen Gebrauch machen dürfen, denn es iſt zu bedenken, daß der Belagerer ſeine Geſchütze nicht demontiren läßt, ſondern ſie der feindlichen Einſicht entzieht, was der Vertheidiger nicht kann. Die Verſuche bei Jülich haben

gezeigt, daß die feindlichen Sappeure die Sprengſtücke des 6Zöllers beim direkten Schuſſe nicht ſehr zu fürchten haben. Man ſchieße alſo nicht in die Bruſtwehren, ſondern überſchieße ſie, um direkt in die Laufgräben zu treffen.

Es wird alſo der gezogene Mörſer auch für die Vertheidigung von höchſter Bedeutung ſein.*)

Ganz anders iſt es beim Angriffe gemauerter Werke; auf dieſe findet das ganze künſtliche Schießen, wie es in dieſem Abſchnitte beſchrieben iſt, Anwendung. Wir werden auf dieſen Gegenſtand zurückkommen, nachdem wir die Kraft und die Trefffähigkeit unſerer Geſchütze werden kennen gelernt haben; ebenſo werden wir dann über die Bahnen und Wirkungen der Streugeſchoſſe ſprechen.

D. Von den Geſchwindigkeiten und den Flugzeiten der Geſchoſſe gezogener Geſchütze.

a. Von den Anfangsgeſchwindigkeiten.**)

99. Die Abhängigkeit der Elevationen für gewiſſe Entfernungen von den Anfangsgeſchwindigkeiten geht aus den theoretiſchen Betrachtungen der Flugbahnen hervor; es fragt ſich nun, iſt es umgekehrt uns möglich, aus den Elevationen auf die Größe der Anfangsgeſchwindigkeiten ſchließen zu können? Grade die Herleitung dieſer Größen aus den Schußtafeln iſt in ihrer Einfachheit einer der ſchönſten Erfolge der graphiſchen Methode der Balliſtik oder der Lehre von den Flugbahnen. Die ſpecielle Ausführung iſt in der Balliſtik des Herrn Major Rördansz zu finden; wir wollen hier nur den allgemeinen Sinn darſtellen und einige Bemerkungen daran knüpfen. Schon zu Anfang dieſer Arbeit haben wir die vorzüglichſten mechaniſchen Mittel aufgeführt, durch welche die Anfangsgeſchwindigkeiten gemeſſen wurden. Mit ſolchen Mitteln hat dieſe Herleitung gar nichts zu thun, wenn nicht beide Manieren geeignet ſind, ſich zu kontroliren. Es iſt freilich unzweifelhaft, daß die durch Zeichnung gefundenen Geſchwindigkeiten leicht durch das Auge und den Grad der Geübtheit des Zeichners etwas von der Wahrheit abweichen, und daß man ſehr vorſichtig ſein muß, auf die ſo ermittelten Zahlen Geſetze des Zuſammenhanges zu ſtützen, durch die man mit anderen, auf andere Weiſe gefundenen Geſetzen im Zwie-

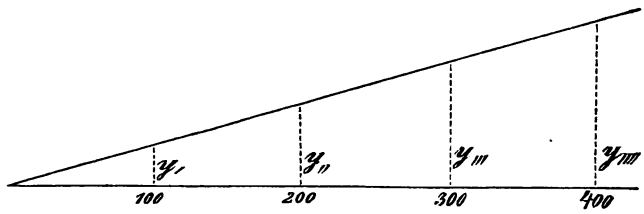
*) Ohne Zweifel liegt es dem Verfaſſer fern, in die Gefechtslehre eingreifen zu wollen, er theilt hier ſeine Erfahrungen mit und beſchränkt ſeine Anſichten gern gegenüber dem beſſeren Wiſſen.

**) Mathematiſche Nachrichten findet man in „Balliſtik der gezogenen Geſchütze“ (1864).

spalt kommen kann. Betrachten wir die Zahlen aber als annähernden Ausdruck für die Größe der Anfangsgeschwindigkeiten, wobei es auf wenige Fuße gar nicht ankommen kann, so ist die Einfachheit dieser und aller ähnlichen Folgerungen zu bewundern, und es ist ihnen, sobald sie die Gesetze bestimmt aussprechen, mindestens so viel Vertrauen zu geben, als den durch kostbare Versuche gefundenen. (Natürlich kann diese Methode, wie jede andere Interpolationsmethode, Widersprüche geben, wenn man zu sehr der Phantasie folgend über die Grenzen der Versuchsresultate hinaus geht.)

100. Mittelst der paraboliſchen Theorie findet man für den luftleeren Raum, daß die Elevationen, welche durch kleine Winkel für gleiche Anfangsgeschwindigkeiten ausgedrückt werden, ihren zugehörigen Entfernungen proportional sind $\left(\sin 2\,\alpha = \frac{g\,x}{c^2}\right)$ d. h. wenn man, wie in Figur 56, durch die Längen der Linien y_{I}, y_{II}, y_{III}, y_{IV},

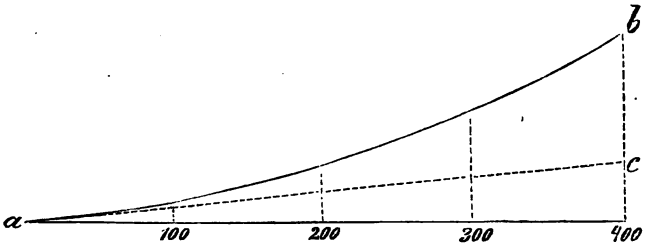
Fig. 56.



die zu 100, 200, 300, 400 Schritt gehörigen Elevationen (in Graden und Minuten ausgedrückt) darstellt, so müssen die Endpunkte derselben eine gerade Linie bilden. Man kann also sagen: Für den luftleeren Raum muß der erste Theil einer Schußtafelkurve also für nicht große Elevationen eine gerade Linie bilden. (Das wird eben so lange der Fall sein, als die sin der Winkel ihren Winkeln proportional zu setzen sind, was bis beinahe 15 Grad stattfindet.) Aus jeder dieser Elevationen und der zugehörigen Entfernung läßt sich die Anfangsgeschwindigkeit berechnen.

Die Elevationen der Wirklichkeit so aufgezeichnet geben eine gekrümmte Linie und zeigen eben durch die Krümmung den Grad des Einflusses des Luftwiderstandes. Diese krumme Linie wird ohne Zweifel von der geraden um so mehr abweichen, je größer die Entfernungen sind (Fig. 57). Umgekehrt wird sie der geraden um so

Fig. 57.



mehr sich nähern, je kleiner die Entfernung ist, und schließlich bei Null Schritt werden beide zusammenfallen, da hier doch entschieden noch kein Luftwiderstand gewirkt hat. Der Einfluß des Luftwiderstandes ist auch auf ganz kleinen Entfernungen, z. B. 20 Schritt, noch als nicht vorhanden zu betrachten, d. h. ein sehr kleiner Theil unserer Elevationskurve wird die Richtung der geraden angeben, welche die Elevationen ausdrückt, wie sie im luftleeren Raume würden erforderlich werden. Diejenige gerade Linie, welche mit einer Kurve einen einzigen Punkt gemein hat und deren Richtung durch einen benachbarten Punkt der Kurve bezeichnet wird, ist eine Tangente an der Kurve in jenem gemeinschaftlichen Punkte.

Ist nun a b die Elevationskurve eines Geschosses und einer Ladung, so erhält man diejenige Grade als Ausdruck für die Elevationen im luftleeren Raume, welche derselben Anfangsgeschwindigkeit angehören, wenn man an dem Nullpunkte an die Kurve a b eine Tangente a c zieht. Die der Entfernung 300 oder 400 Schritt entsprechende Elevation läßt sich aus der Figur ablesen, und daraus läßt sich mittelst der Formel $c^2 = \frac{g\,x}{\sin 2\,\alpha}$ die Anfangsgeschwindigkeit berechnen (c bedeutet die Geschwindigkeit, g die Beschleunigung der Schwerkraft $31\frac{1}{4}$ Fuß, α die Elevation).

Da bei Entfernungen von 50 oder 100 Schritt die Elevationskurve sich von einer geraden noch kaum unterscheidet, so kann man für überschlägliche Rechnungen für den Winkel α auch ohne Weiteres die wirklich ermittelte Elevation einführen, und für die praktische Ausführung hat man die Richtung der Kurve in dieser kleinen Strecke als Richtung der Tangente zu betrachten und zu verlängern.*)

*) Gegner dieser Methode halten das Ziehen der Tangente für nicht ausführbar; dieser Begriff ist aber mathematisch begründet — man denke

101. Wir werden noch einmal auf die Bestimmung der Anfangsgeschwindigkeiten zurückkommen bei der Besprechung der Flugzeiten. Man erkennt aus den Schießresultaten verschiedener Jahreszeiten und Witterungsverhältnisse die Verschiedenheit des Luftwiderstandes in der Veränderung der Kurve der Elevationen. Man darf aber nicht alle Abweichungen nur dem Luftwiderstande zuschieben, denn so wunderbar regelmäßig sich die Ergebnisse unserer Geschütze zeigen, so haben wir doch nicht die vielen Größen zu vergessen, welche wir bei der Betrachtung der Bildung der Anfangsgeschwindigkeiten in den Geschützröhren als wirksam kennen gelernt haben. Die genaue Arbeit bei der Fertigung der Röhre, die stets gleiche Form und Schwere des Geschosses, die Gleichheit des Widerstandes in den Röhren, welche durch die Härte des Bleies und durch den Grad der Reinheit der Seele bedingt wird, die Gleichheit der Pulverwirkung, abhängig von der Menge, von dem Gehalte an Feuchtigkeit, von der Größe der Körner u. s. w. sind Faktoren, denen wir nicht Rechnung tragen können, die aber von Schuß zu Schuß die Anfangsgeschwindigkeit und somit die ganze Bahn ändern können, und welche uns deshalb auffordern, nach Möglichkeit in unsere Gewalt gebracht zu sein. Der größere Feuchtigkeitsgehalt des Pulvers allein schon erklärt das Zurückbleiben der Geschwindigkeiten des Winters gegen die des Sommers.*)

Wenn die auf vorstehende Weise für ganz kleine Ladungen ermittelten Geschwindigkeiten nicht ganz scharf in die von uns bei Besprechung der Geschützröhre aufgestellten Gesetze hineinpassen, so

---

an $\frac{\triangle y}{\triangle x} = \text{tang } \varphi$. Man verlängert die Tangente aus keinem anderen Grunde, als um die Ablesungsfehler von etwa ½ Minute auf eine größere Zahl zu übertragen, also relativ zu verkleinern.

*) In der folgenden Tabelle geben wir eine Uebersicht aus den Messungsresultaten zweier Versuche zur Bestimmung der Anfangsgeschwindigkeiten, um daraus erkennen zu lassen, wie groß die Abweichungen von Schuß zu Schuß sein können. Die Zahlen enthalten natürlich auch die unvermeidlichen Fehler der Messungen selbst, wobei man namentlich zu bedenken hat, daß diese Messungen bis in die tausendstel Sekunden gehen. Die Arbeiten sind in Sachsen an dem Gußstahl-6Ller mit dem elektro-ballistischen Apparate von Navez und in Belgien an verschiedenen Kalibern unsers Systems mit dem Apparate von Le Boulangé ausgeführt und erstere im Archiv Band 54, letztere Band 56 mitgetheilt. Die Ladungen waren große. In Sachsen wurden die Geschwindigkeiten an verschiedenen Bahnpunkten gemessen:

auf	37,5	Schritt	6	Schuß	größter	Unterschied	28 Fuß
„	436	„	5	„	„	„	31 „
„	835	„	3	„	„	„	0,6 „

haben wir selbst schon angedeutet, daß wir eines der Gesetze der Bequemlichkeit des Gebrauches wegen nicht ganz scharf ausgedrückt haben, weil wir, wie gezeigt, diese kleine Abweichung für die Praxis als unwesentlich betrachten dürfen.

b. Von den Endgeschwindigkeiten.

102. Es ist gleich wichtig für die Praxis der Artillerie, wie für ihre Theorie, die Geschwindigkeiten zu kennen, mit denen unsere Geschosse sich bewegen: ersteres für die Beurtheilung der Kraft des Anschlages und Durchschlages, letzteres für die vollkommenste Auffassung von der Wirksamkeit der die Bahnen bildenden Naturkräfte und für den Vergleich der Flugbahnen. Schon bei der Betrachtung der Entstehung einer parabolischen Bahn haben wir gesehen, daß die Geschwindigkeit des Geschosses vom ersten Momente der Bewegung ab sich ändert und daß diese Aenderung abhängig ist von der jedesmaligen Richtung der Flugbahn, weil die Zusammensetzung der Vorwärtsrichtung und = Geschwindigkeit mit der Fallrichtung und = Geschwindigkeit mittelst des Parallelogramms der Kräfte dies verlangt. Es zeigte sich, daß die Geschwindigkeiteiten bis zum Gipfel der Bahn fortwährend sich verkleinerten, weil die Richtungen immer flachere Winkel mit der horizontalen machen, und daß die Geschwindigkeiten sich dann vergrößerten, weil jene Winkel wieder zunehmen. Die Geschwindigkeit des letzten Bewegungsaugenblickes in der durch den Einfallwinkel bezeichneten Richtung wurde die Endgeschwindigkeit genannt und diese mußte gleich der Anfangsgeschwindigkeit sich ergeben.

In Belgien wurde mit verschiedenen Pulversorten geschossen:

24Ⓒer	10	Schuß	größter	Unterschied	15	Fuß.
„	10	„	„	„	19	„
12Ⓒer	8	„	„	„	10	„
„	5	„	„	„	20	„
4Ⓒer	81	„	„	„	16	„

Beim 4Ⓒer ist der größte Unterschied der in den einzelnen Serien à 5 oder 6 Schuß stattgefundenen Messungen angegeben.

Da die Apparate nachweisbar mit kleinen Fehlern arbeiten, so dürfen wir jedenfalls annehmen, daß die vorkommenden Unterschiede wirklich nicht größer sind. Ein Parallelversuch mit beiden Apparaten zeigte übrigens, nach dem Urtheil der belgischen Akademie der Wissenschaften, daß die Abweichungen in den Ergebnissen des Apparates des Herrn Le Boulangé bedeutend geringer sind als für den Apparat des Herrn Navez, und daß die Geschwindigkeiten sich in so engen Grenzen befänden, daß ihre Genauigkeit die Genauigkeit der sie messenden Arbeiten bedeutend übertrifft." Diese Angelegenheit ist wichtig für die Besprechung der Shrapnels.

In der ballistischen Linie findet im aufsteigenden Aste die Abnahme der Geschwindigkeit durch die Entgegenwirkung der Luft offenbar in erhöhtem Maße statt, d. h. die Gipfelgeschwindigkeit wird im lufterfüllten Raume noch geringer sein, als sie im luftleeren Raum sein würde, und daraus können wir weiter schließen: Die Endgeschwindigkeiten sind im lufterfüllten Raume kleiner als die Anfangsgeschwindigkeiten.

103. Die Endgeschwindigkeiten unserer Geschosse sind berechnet und in den Geschwindigkeitstabellen zusammengestellt. Diese Tabellen sind in den Schußtafeln so reichhaltig und übersichtlich, daß es nur weniger Worte bedarf, jeden gewünschten Aufschluß aus ihnen zu erlangen. Denken wir uns zunächst alle Bahnen der 24 Cer, welche den um je 50 Schritt wachsenden Entfernungen entsprechen. Bei der Anfangsgeschwindigkeit von 946 Fuß ist nach 50 Schritt Flugweite die Endgeschwindigkeit auf 294½ Fuß gefallen. Der Verlust beträgt also 3½ Fuß, bei 100 Schritt Flugweite beträgt dieser Verlust 6½ Fuß, bei 150 Schritt 9½ Fuß. Wir sehen also, daß der Verlust wächst, je länger das Geschoß dem Luftwiderstande ausgesetzt war, so daß bei 2000 Schritt Entfernung schon 946 — 836 = 110 Fuß eingebüßt sind. Wir sehen aber auch, daß der Verlust nicht in gleichem Maße wächst, denn während auf kleinen Entfernungen dieser bei je 50 Schritt etwa 3 Fuß beträgt, hat er hier nur noch die Größe von durchschnittlich 2½ Fuß. Noch geringer werden die Unterschiede, wenn die Entfernungen ganz groß werden, denn wir finden zwischen 4900 und 5000 Schritt nur noch eine Differenz von 711 — 707½ = 3½ Fuß, so daß also von 0 bis 5000 Schritt der ganze Verlust die Größe von 946 — 707½ = 238½ Fuß erreicht hat. Für die Unterschiede in der Abnahme der Geschwindigkeitsverluste von 100 zu 100 Schritt zeigt sich das Gesetz, daß diese mit den Entfernungen immer geringer werden, oder, um den wahren Grund zu geben, daß sie geringer werden mit dem Wachsen der Einfallwinkel. So lange wir nur von einer Ladung sprechen, wachsen die Einfallwinkel mit den Elevationen. Es ist also vielleicht möglich, daß bei ganz großen Elevationen, wie sie der Mörserwurf verlangt, diese Unterschiede zu Null werden und sogar ihr Vorzeichen ändern, d. h. daß die Endgeschwindigkeiten wieder wachsen und bei dem Mörserwurfe sich wieder der Anfangsgeschwindigkeit nähern können.

104. Die Einwirkung des Luftwiderstandes soll sich äußern im Verhältnisse der Quadrate der Geschwindigkeiten, d. h. die kleineren

Ladungen müssen geringere Geschwindigkeitsabnahmen ergeben als die größeren. Dem entsprechen die Angaben der Tabellen.

Wir finden für die 24 ℔er Granate auf der Entfernung 2000 Schritt:

Ladung	Pfund	4 -	3,4 -	2,8 -	2,2 - 1,6
Anfangsgeschwindigkeit	Fuß	946 -	870 -	772 -	669½ - 578½
Endgeschwindigkeit .	„	836 -	768½ -	681½ -	591 - 511
Verlust.	„	110 -	101½ -	90½ -	77½ - 67½

Nach dem Vorigen ist das Abnehmen der Verluste aber nicht allein dem Abnehmen der Geschwindigkeiten, sondern gleichzeitig dem Wachsen der Einfallwinkel zuzuschreiben.

Das schwerere Geschoß überwindet den Luftwiderstand besser als das leichtere, in derselben Weise das größere Kaliber leichter als das kleinere; auch die Form des Geschosses kann dieses Ueberwinden begünstigen.

Vergleichen wir die Geschwindigkeiten der 24 ℔er Granate mit 4 ℔ und der 6 ℔er Granate mit 1 ℔, welche gleiche Anfangsgeschwindigkeiten haben:

	24 ℔er	6 ℔er.
Entfernung	Geschwindigkeit	
0	946	946½
50	942½	941½
500	915	896½
1000	885½	849½
2000	836	761

Der Unterschied tritt hier sehr deutlich hervor, da der 6 ℔er schon 185, wo der 24 ℔er 110 verloren hat.

105. In Bezug auf die Form haben wir nicht Gelegenheit, den Vergleich ganz rein anzustellen, da bei der 24 ℔er Granate und dem Vollgeschosse gleichzeitig das Gewicht und die Anfangsgeschwindigkeit mitwirken. Die Anfangsgeschwindigkeiten lassen sich aber leicht ausgleichen durch Anpassen der Ladungen. Es entsprechen sich z. B. ungefähr 4,5 ℔ des Vollgeschosses und 3,6 ℔ der Granate; die Anfansgeschwindigkeit des ersteren ist 889 Fuß, die der letzteren 898 Fuß, dagegen ist die Endgeschwindigkeit des ersteren auf 2000 Schritt 791 Fuß, die der letzteren 793½ Fuß. Während die Granate 104½ Fuß verloren hat, finden wir für das Vollgeschoß nur 98 Fuß. Der Unterschied ist allerdings gering, weil Geschwindigkeit und Entfernung unbedeutend sind.

Mit 6 ℔ erhält das Vollgeschoß 1037½ Fuß, die Granate mit 5 ℔ aber 1055 Fuß und die Endgeschwindigkeit beider ist auf 3600 Schritt 851 Fuß.

Im Allgemeinen darf man bei diesen Auseinandersetzungen ableiten, daß die durch Gewicht und Form entspringenden Geschwindigkeitsunterschiede in praktischen Betrachtungen als unwesentlich zu vernachlässigen sind. Vielmehr stellt sich ein wichtiger Satz heraus: Die Endgeschwindigkeiten verhalten sich bei gleichen Kalibern wie die Anfangsgeschwindigkeiten. So erhalten wir z. B. für 4 ℔ und 3 ℔ bei der 24 ℔er Granate auf 2000 Schritt:

Anfangsgeschwindigkeit für 4 ℔ 946 Fuß, für 3 ℔ 806 Fuß
Endgeschwindigkeit „ „ 836 „ „ „ 711½ „

während die Proportion

946 : 806 = 836 : 711,2 giebt.

106. Wir dürfen mithin die Sätze über die Anfangsgeschwindigkeit auch ausdehnen auf die Endgeschwindigkeit und erhalten also: Für gleiche Entfernungen verhalten sich die Endgeschwindigkeiten aus gleichen Röhren 1) bei gleichen Geschossen wie die Quadratwurzeln aus den Ladungen (mit derselben Beschränkung wie bei den Anfangsgeschwindigkeiten), 2) bei gleichen Ladungen umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den Geschossen. Als Anhalt möge dienen: Die 24℔er Granate verliert bei 4 ℔ Ladung auf je 100 Schritt nahe 5 Fuß an Endgeschwindigkeit.

Für verschiedene Kaliber müssen wir uns des Luftwiderstandsgesetzes erinnern, nach welchem der Widerstand überwunden wird im Verhältnisse der Durchmesser; wir leiten als nahe richtig daraus hervor: Wenn Geschosse verschiedener Kaliber gleiche Anfangsgeschwindigkeiten haben, so haben sie auf solchen Entfernungen gleiche Endgeschwindigkeiten, welche im Verhältnisse ihrer Durchmesser stehen, oder: der Verlust auf je 100 Schritt steht in demselben Verhältnisse, z. B. die 24℔er Granate mit 4 ℔ und die 6℔er mit 1 ℔ haben gleiche Anfangsgeschwindigkeit, und ihre Durchmesser 5,7 und 3,5 verhalten sich wie 8 : 5; nun finden wir:

Entfernung		Geschwindigkeit	
24℔er	6℔er	24℔er	6℔er
0	0	946	946½
400	250	921	921
800	500	897	896½
1600	1000	854½	849½
2400	1500	816½	805
3200	2000	781	761

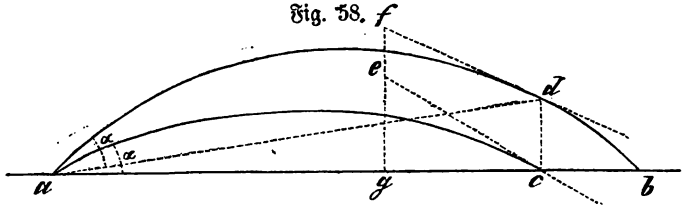
Die Abweichungen von dieser einfachen Regel, welche ja nur einen Ueberschlag gestatten soll, sind begründet durch das schnellere Wachsen der Einfallwinkel auf großen Entfernungen.

c. Von den Geschwindigkeiten in jedem beliebigen Bahntheile.

107. Es tritt uns die Frage entgegen, ob die um ihren Anfangspunkt beliebig aufwärts geschwenkten Bahnen, wenn sie auch der Form nach zusammenfallen, in Bezug auf die Geschwindigkeiten gleich sein können?

Offenbar ist dies nicht der Fall, denn wenn die Geschwindigkeit des Geschosses von der jedesmaligen Richtung seines Fluges abhängt, so müssen die Geschwindigkeiten in zwei Bahnen, deren ursprüngliche Richtung verschieden ist, von einander abweichen. Denken wir uns eine Bahn auf 5000 Schritt und unterhalb derselben die sämmtlichen Bahnen, deren Endpunkte um 100 zu 100 Schritt zurückgehen. Unsere Geschwindigkeitstabellen geben dann die jeder einzelnen Bahn entsprechenden Endgeschwindigkeiten, aus welchen die Geschwindigkeiten in der Hauptbahn herzuleiten wir versuchen wollen.

Fig. 58.



In Figur 58 mögen e c die letzte Richtung und Endgeschwindigkeit der Bahn a c, dagegen f d die entsprechenden Größen nach der Schwenkung der Bahn f d vorstellen. Um einen Vergleich anstellen zu können, müssen wir e c und f d auf eine gemeinschaftliche Größe zurückführen, indem wir beide auf die Horizontale als g c projizirt denken. Dies geschieht mathematisch durch Multiplication mit dem Kosinus der Tangentenwinkel. Kennen wir also umgekehrt die Projektion, so können wir mittelst Division derselben durch die Kosinus der Tangentenwinkel die wirklichen Größen der Geschwindigkeiten finden. Wir haben in dem vorigen Abschnitte aber gesehen, daß die Endgeschwindigkeit nicht allein durch den Einfallwinkel bestimmt wird, sondern daß dies bei verschiedenen Geschossen je nach der Fähigkeit, den Luftwiderstand zu überwinden, auch durch die überflogenen Entfernungen geschieht. Dieser Einfluß der Entfernungen spricht sich in der Verschiedenheit der Elevationen aus, und deshalb sind die Projektionen der Geschwindigkeiten durch Division mit den Kosinus der Elevationen noch erst von dem Einflusse derselben zu befreien.

Wir kennen nun die Endgeschwindigkeiten aus unseren Winkeltabellen und die Einfallwinkel und Elevationen aus den Schußtafeln, folglich ist es leicht, zuerst die Endgeschwindigkeiten auf den Horizont zu projiziren und dann die Bahngeschwindigkeiten daraus abzuleiten, da wir die Tangentenwinkel uns ja auch verschaffen können.

Setzen wir die Elevation der Hauptbahn a, die der geschwenkten Bahn b, den Tangentenwinkel der Hauptbahn c, den Einfallwinkel der geschwenkten Bahn d und ihre Endgeschwindigkeit v, so erhalten wir die gesuchte Geschwindigkeit in der Hauptbahn durch Berechnung der Formel:*)

$$\frac{v.\ \cos d}{\cos c} \cdot \frac{\cos a}{\cos b}$$

108. Das ist die theoretische Lösung der Aufgabe; wir wollen nun an einem Beispiele darthun, wie weit der Gegenstand praktisch wichtig ist, und setzen zu dem Zwecke zunächst eine kleine Tabelle der Kosinus her:

cosinus	0	Grad	= 1,0000	cosinus	9	Grad	= 0,9877
„	½	„	= 1,0000	„	10	„	= 0,9848
„	1	„	= 0,9998	„	11	„	= 0,9816
„	1½	„	= 0,9997	„	12	„	= 0,9781
„	2	„	= 0,9994	„	13	„	= 0,9744
„	3	„	= 0,9986	„	14	„	= 0,9703
„	4	„	= 0,9976	„	15	„	= 0,9659
„	5	„	= 0,9962	„	16	„	= 0,9613
„	6	„	= 0,9945	„	17	„	= 0,9563
„	7	„	= 0,9925	„	18	„	= 0,9511
„	8	„	= 0,9903	„	20	„	= 0,9397

Die größte Abweichung der Geschwindigkeiten in einer höher liegenden Bahn von den Endgeschwindigkeiten der der Entfernung nach entsprechenden tiefer liegenden Bahnen muß jedenfalls bei der Kulmination stattfinden, wo der Tangentenwinkel Null ist.

Wir haben für den 24ßer mit 4 ℔ auf 5000 Schritt die Elevation etwa 16 Grad, die Abscisse der Kulmination 2650 Schritt gefunden; für diese letztere Entfernung giebt die Schußtafel den Einfallwinkel 8½ Grad, die Elevation 7½ Grad und die Endgeschwindigkeit 805 Fuß. Diese 805 Fuß sind nach obiger Formel zu multipliciren mit cosinus 8½ Grad und cosinus 16 Grad

*) Nach Ballistik d. gez. Gesch. ist $v = \frac{c.\ \cos b}{\cos d\ e^{\frac{n}{2}}}$, wo e d. Basis d. nat. Log. ist u. n den Luftwdstd. enthält; $\frac{\cos b}{\cos d}$ ist zu ersetzen durch $\frac{\cos a}{\cos c}$.

und zu dividiren mit cosinus 0 Grad und cosinus $7\frac{1}{2}$ Grad, also $805 \cdot \frac{0{,}989}{1} \cdot \frac{0{,}961}{0{,}991}$, woraus wir als gesuchte Gipfelgeschwindigkeit 772 Fuß finden.

109. Erinnern wir uns jetzt des Beispieles, welches wir für die Benutzung der Kenntniß der Tangentenwinkel gegeben haben, um die Entfernung bestimmen zu können, von welcher aus man ein sehr hoch gelegenes Ziel zu beschießen haben würde, und denken wir gleichzeitig, daß man dasselbe Ziel durch einen Mörserwurf treffen könnte, in welchem Falle der bezügliche Tangenten- oder Einfallwinkel auch nur unbedeutend sein würde. Bei einem solchen Mörserwurfe würde man höchstens eine Ladung von 2 ℔ verwenden, also im günstigsten Falle eine Anfangsgeschwindigkeit von 638 Fuß erhalten können, welche in der zu beschießenden Höhe auf vielleicht 550 Fuß reducirt sein würde. Man zieht also aus der Möglichkeit, die Bahngeschwindigkeiten berechnen zu können, den Nutzen, sich die Gewißheit zu verschaffen, daß in Bezug auf die Zerstörungskraft gegen hoch gelegene Ziele die Anwendung großer Ladungen bei geringen Elevationen entschieden einer solchen von kleinen Ladungen bei großen Elevationen vorzuziehen ist.

110. Verfolgen wir die Geschwindigkeiten in der Bahn vom Gipfel abwärts; in der Parabel sollen von hier aus die Geschwindigkeiten wieder wachsen.

Wir fanden für 5000 Schritt die Gipfelgeschwindigkeit 772 Fuß und die Schußtafel giebt die Endgeschwindigkeit gleich 708 Fuß. Die Zahl ist aber kleiner als 772 Fuß, mithin können in unserer ballistischen Linie die Geschwindigkeiten im absteigenden Aste nicht wachsen, und da der Unterschied zwischen 772 und 708 bei einer Entfernung von 5000 — 2650 = 2350 Schritt nur gering ist, so folgt:

Die Abnahme der Geschwindigkeiten im absteigenden Aste ist nur sehr gering, oder der absteigende Ast einer Bahn wird mit nahe gleichförmiger Geschwindigkeit beschrieben. Wir erhalten nämlich bei 2650 Schritt 772 Fuß, bei 3000 Schritt 757 Fuß, bei 3800 Schritt 729 Fuß, bei 5000 Schritt 708 Fuß. Da wohl nicht lange Zeit bis zur Einführung eines Mörserwurfes gezogener Geschütze vergehen wird, so ist es wichtig, diesen letzteren Satz etwas weiter zu verfolgen. Es fragt sich: Kann unter keinen Umständen die Geschwindigkeit im absteigenden Aste wieder wachsen? Das ist nun allerdings der Fall, aber in anderer Weise als in der Parabel.

Nach der Vorstellung vom Parallelogramm der Kräfte muß

wegen der gegenseitigen Richtung und des Größenverhältnisses der fortschreitenden und der Fallgeschwindigkeit die resultirende durchaus größer sein, als jede der beiden einzelnen Geschwindigkeiten. Die Vergrößerung ist aber immer noch kleiner als der Verlust, welchen der Luftwiderstand herbeiführt, so daß ein Wachsen so lange nicht eintreten kann, als nicht das umgekehrte Verhältniß stattfindet. Dies ist abhängig von der Größe der Tangentenwinkel, und wir haben uns die Sache so vorzustellen:

Wenn wir bei gleicher Anfangsgeschwindigkeit unter wachsenden Erhöhungen schießen, so werden wir an eine solche gelangen, welche einen so großen Einfallwinkel giebt, daß die Vergrößerung der Geschwindigkeit beim Fallen dem Verluste durch den Luftwiderstand gleich wird. Die Geschwindigkeit würde, wenn die Bahn nicht durch den Erdboden beendet wäre, einen Moment sich gar nicht ändern und von jetzt ab wieder wachsen. Das Minimum der Geschwindigkeit würde also genau mit dem Endpunkte der Bahn zusammenfallen, während es bei der Parabel im Gipfel liegt. Steigt dann die Elevation, so wird ein solcher Winkel, durch welchen Gewinn und Verlust der Geschwindigkeit sich ausgleichen, schon vor dem Endpunkte der Bahn auftreten und die Geschwindigkeit von hier aus wieder wachsen. Der Punkt, in welchem das Minimum der Geschwindigkeit sich einstellt, ist also zuerst der Endpunkt der Bahn und geht bei steigender Elevation immer mehr rückwärts, bis er bei 90 Grad mit dem Gipfel zusammenfällt, denn hier ist die Geschwindigkeit gleich Null.*)

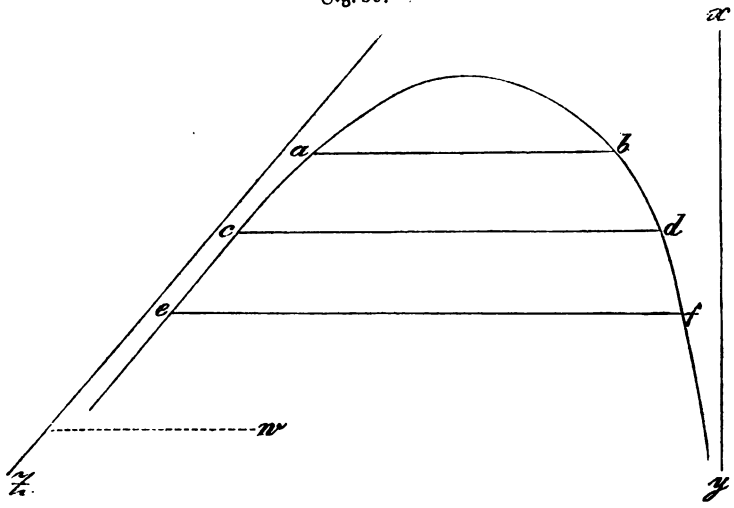
111. Zum Schlusse fügen wir noch einige Worte über eine allgemeinere Anschauung der ballistischen Linie hinzu. Wie die von uns betrachtete Parabel nur ein durch eine horizontale Ebene abgeschnittener Theil jener Parabel ist, welche ihre Zweige in die Unendlichkeit erstreckt, so können wir unsere Flugbahnen als Theile der unendlichen ballistischen Kurve betrachten.

Wie wir uns vorstellen können, eine Bahn würde nicht im absteigenden Aste durch den Erdboden begrenzt, sondern ginge in die Unendlichkeit fort, so dürfen wir auch denken, die Bahn beginne nicht an der Geschützmündung, sondern komme aus unendlicher Ferne her, der aufsteigende Ast habe in der Geschützmündung die Elevation als Tangentenwinkel und die Anfangsgeschwindigkeit als Bahngeschwindigkeit dieses Punktes.

*) In einer späteren, rein ballistischen Arbeit werden wir suchen, diese Grenze zu bestimmen. Durch analytische Rechnungen wird es aber sehr schwer zu erlangen sein; wir werden also durch Aufstellung kleiner Tabellen das Ziel erreichen.

Wir ſehen dann, daß es für jedes Geſchütz Syſteme von Bahnen verſchiedener Ladungen giebt, welche thatſächlich Theile je einer und derſelben Kurve ſind, wenn z. B. die Elevationen von c und a (Fig. 59) gleich den entſprechenden Tangentenwinkeln

Fig. 59.



und die zugehörigen Anfangsgeſchwindigkeiten gleich den entſprechenden Bahngeſchwindigkeiten der Bahn e f ſind. Solcher Syſteme giebt es ſo viele, als es Kombinationen zwiſchen Anfangsgeſchwindigkeiten und Erhöhungswinkel giebt.

Hätte man alſo alle möglichen Elemente von e f beſtimmt, als Tangentenwinkel, Bahngeſchwindigkeiten, Ordinaten, Kulmination, ſo würden dieſe Elemente gleichzeitig für jede Theilbahn c d oder a b bekannt ſein. Wenn nun die Geſetze für die Bildung dieſer Größen mathematiſch feſtgeſtellt ſind, ſo kann man rückwärts aus der kleineren Bahn auf die größere ſchließen, ja man kann ſagen, wie groß mußte beim Beginnen der Bahn in der Unendlichkeit die Anfangsgeſchwindigkeit ſein und welchen Winkel müßte die erſte Richtung mit der Horizontalen bilden, um die wirkliche Bahn als einen ihrer Theile und zwar als Gipfeltheil zu geben. Offenbar muß dieſe Richtung eine beſtimmte ſein und eben ſo ſicher giebt es in der Unendlichkeit keinen erſten Punkt, d. h. dieſe Richtung v z iſt eine ſolche, welche der rückwärts verlängert gedachte, aufſteigende Aſt nie erreicht, welcher er ſich aber immer mehr nähert.

Eine Linie, welcher eine Kurve sich fortwährend nähert, ohne sie je erreichen zu können, heißt eine Asymptote, und der aufsteigende Ast unserer Flugbahnen hat eine solche Asymptote, deren Richtung man für jedes der obengenannten Systeme, die aus bestimmten Kombinationen von Elevation und Anfangsgeschwindigkeit hervorgehen, berechnen kann — die Richtung wird bezeichnet durch den sogenannten Asymptotenwinkel w z v. Der absteigende Ast hat offenbar das Streben, einmal in einen senkrechten Fall überzugehen, ohne es jemals erreichen zu können, d. h. der absteigende Ast hat eine senkrechte Asymptote x y. Wir kommen somit zu dem Satze von Euler:

Die ballistische Linie hat zwei Asymptoten, von denen die des absteigenden Astes senkrecht ist — und wir haben diese kurzen Andeutungen vorgeführt, um zu zeigen, was es bedeute, wenn Euler vorschlug, für die ballistische Linie Tafeln zu berechnen, welche die Lösung des Problems zurückführen auf die Bestimmung des Asymptotenwinkels des aufsteigenden Astes, und um gleichzeitig die Bemerkung daran zu knüpfen, daß unser Ballistiker, der Herr Generalmajor Otto, der erste und einzige Mathematiker war, welcher in seinen „Tafeln über den Bombenwurf" diese wichtige und riesige Arbeit ausgeführt hat.

Anmerkung: Die Endgeschwindigkeiten findet man aus graphischen Darstellungen annähernd aus $v = \sqrt{\frac{g \triangle x}{\sin(\triangle \varphi + \triangle \alpha)}}$, wo $g = 31\frac{1}{4}$ F., $\triangle x$ eine kleine Entfernungsdifferenz, $\triangle \varphi$ die entsprechende Fallwinkel- und $\triangle \alpha$ die Elevations-Differenz ist.

$$v_{2000} = \sqrt{\frac{g \,.\, 100 \,.\, 2{,}4}{\sin(20' + 17\frac{1}{2}')}} = 830 \text{ für } 24\text{℔er Granaten.}$$

d. Von den Flugzeiten.

112. Da die Geschwindigkeiten, welche verschiedene Ladungen gleichen oder verschiedenen Geschossen geben, nicht gleich sind, so müssen nothwendiger Weise auch die daraus hervorgehenden Flugzeiten auf gleichen Entfernungen und unter einander abweichen, andererseits folgt von selbst die Abhängigkeit dieser Zeiten von den Flugweiten. Die Kenntniß der Flugzeiten ist wichtig für die Tempirung von Brennzündern; man darf aber nicht voraussetzen, daß die als Tempirung angegebene Zahl Sekunden genau die Flugzeit ist. Die erstere als Ausdruck für die Brennzeit ist durch Brennversuche ermittelt, welche bei ruhigem Liegen des Zünders ausgeführt wurden, während das Brennen im Fluge nachweislich andere Tempirungen erfordert, als diese den wirklichen Flugzeiten entspre-

chen würden. Welche Gründe, als Veränderung des Gasabflusses, höhere oder niedrige Temperaturen u. s. w. hier auch wirken mögen, so sind wir doch genöthigt, die Tempirungen durch Schießversuche festzustellen. Es ist aber auch erwiesen, daß die Brennzeiten denselben Gesetzen folgen, welchen die Flugzeiten unterliegen, und deshalb ist es wichtiger, diese Gesetze als die Flugzeiten selbst zu kennen.

113. Die Flugzeiten der Granaten sind bei uns durch die früher beschriebene Uhr gemessen, und es zeigt sich, daß wir sie durch folgende einfache Rechnung hinreichend genau bestimmen können. Nämlich: *Man findet die Flugzeiten, wenn man die Entfernung durch eine der Anfangs- und Endgeschwindigkeit entsprechende mittlere Zahl dividirt.* Es ist hierbei zu beachten, daß wir die Geschwindigkeit gewöhnlich in Fußen, die Entfernungen in Schritten geben, daß wir also die letzteren mit 2,4 zu multipliziren haben.

Beispiele:

1) Für die 24 ℔er Granate mit 4 Pfund ist die Flugzeit auf 2000 Schritt im Mittel 5,31 Sekunden beobachtet worden. Die Anfangsgeschwindigkeit ist 946 Fuß, die Endgeschwindigkeit 836 Fuß, das Mittel $\frac{946 + 836}{2} = 891$ Fuß. Damit dividiren wir in 2000 Schritt $= 4800$ Fuß und erhalten $\frac{4800}{891} = 5{,}39$ Sekunden.
2) Für die 6 ℔er Granate mit 1,2 Pfund ist bei 1055 Fuß Anfangs-, 848 Fuß End-, also 951 Fuß Mittel-Geschwindigkeit die Flugzeit auf 2000 Schritt 5,14 Sekunden gefunden worden. Unsere Rechnung giebt $\frac{4800}{951} = 5{,}03$ Sekunden.

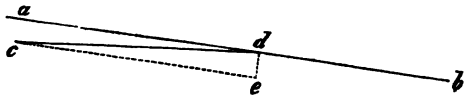
114. Da die End- und Mittelgeschwindigkeiten sich wie die Anfangsgeschwindigkeiten verhalten, so können wir den Satz aufstellen: *Die Flugzeiten verhalten sich umgekehrt wie die Anfangsgeschindigkeiten.*

Für die Erweiterung dieses Satzes dürfen wir wieder die früher aufgeführten Beziehungen zu den Ladungs- und Geschoßgewichten benutzen, d. h.

1) Die Flugzeiten verhalten sich umgekehrt für gleiche Entfernungen wie die Quadratwurzeln aus den Ladungsgewichten;
2) die Flugzeiten verhalten sich wie die Quadratwurzeln aus den Geschoßgewichten;
3) Gleiche Ladungsquotienten geben nahe gleiche Flugzeiten.

Ein fester Punkt d des Geschosses (Figur 63.) wird in dem

Fig. 63.



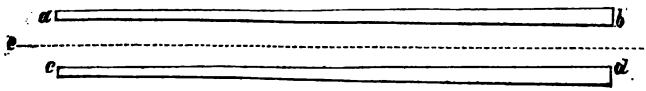
Maße von der ursprünglichen Ebene c d abgelenkt, als bei seinem Vorschreiten die Linie d e zunimmt.*) Die Linie a b ist um die Seele gewunden, deshalb muß der Punkt d sich der ursprünglichen Ebene wieder nähern, und er wird eine ganze Umdrehung bei gleichem Vorschreiten um so schneller vollenden, je kürzer der Drall oder je größer der Drallwinkel ist.

119. Die einmal angenommene Drehung oder Rotation behält das Geschoß auch in der Luft und die Drallänge zeigt uns, wie lang der Weg ist, auf welchem ein Punkt der Geschoßoberfläche eine ganze Drehung vollführt. Wenn dann die 6℔er Granate bei 1,2 Pfund Ladung eine Geschwindigkeit von 1055 Fuß hat, so muß sie in einer Sekunde bei 15 Fuß Drall $\frac{1055}{15} = 70$ Umdrehungen machen. Die 24℔er Granate macht auf je 25 Fuß eine Umdrehung; es scheint also, als ob bei der steigenden Drallänge der größeren Kaliber diese eine langsamere Rotation erhalten.

Um das zu untersuchen, wollen wir zunächst die Drallwinkel unserer verschiedenen Kaliber ermitteln, und zwar wollen wir dies gleichzeitig benutzen zu einem Beispiele für die Verwerthung der Schußtafeln als Winkeltabelle. Erinnern wir uns (Nr. 77.) daß bei einer Visirlinie von 113,5 Zoll 1 Grad = 2 Zoll ist, oder noch bequemer, daß für 4½ Fuß 1 Grad = 1 Zoll ist. Ein

*) Bei sogenannten Parallel-Zügen ergiebt die Kante eines Feldes den Drallwinkel; sind aber die Kanten eines Feldes nicht parallel geschnitten, wie in Fig. 64, welche Keilzüge darstellt, so wird zwar auch

Fig. 64.



das Geschoß in Bezug auf a b (Führungskante) abgedrängt gegen c d — die Kante c d sucht dies jedoch zu verhindern, so daß das Geschoß von beiden Kanten a b und c d gedrängt wird. Man hat deshalb eine Mittellinie e f zu denken, wenn man den Drallwinkel bestimmen will.

Zug ist eine Schraubenlinie, und der Steigewinkel einer solchen wird bestimmt durch den Umfang und die Höhe des Cylinders, um welchen sie gewickelt ist. Wir erhalten den Winkel in Graden, wenn a der Umfang, b die Höhe ist, durch die Proportion b Fuß: $4\frac{1}{2}$ Fuß = a Zoll : x Zoll, wo dann statt 1 Zoll 1 Grad gesetzt wird. Der Umfang des Cylinders (Seele) wird gefunden durch Multiplikation des Durchmessers mit der Zahl $\pi = 3{,}14$; so wird nun

für den	4ℳer	a =	3 . 3,14 =	9,42	Zoll,	b =	12	Fuß
" "	6ℳer	a =	3,5 . 3,14 =	10,99	"	b =	15	"
" "br.	14ℳer	a =	4,6 . 3,14 =	14,44	"	b =	15	"
" "	24ℳer	a =	5,7 . 3,14 =	17,90	"	b =	25	"

woraus sich ergiebt als Drallwinkel:

für den	4ℳer	12 : $4\frac{1}{2}$ =	9,42	: 3,53	Grad
" "	6ℳer	15 : $4\frac{1}{2}$ =	10,99	: 3,30	"
" "brz.	12ℳer	15 : $4\frac{1}{2}$ =	14,44	: 4,33	"
" "	24ℳer	25 : $4\frac{1}{2}$ =	17,90	: 3,22	"

Es zeigt sich also, daß der bronzene 12ℳer den größten Drallwinkel hat, und daß für gleiche Drallwinkel sich die Drallängen genau wie die Geschoßdurchmesser verhalten müßten; indessen haben verschiedene Gründe von der vollen Gleichheit etwas abweichen lassen.

120. Die Geschosse der verschiedenen Kaliber haben verschiedene Umfänge, d. h. ein Punkt der Oberfläche der 24ℳer Granate hat zu einer ganzen Umdrehung einen größeren Weg zu machen als ein solcher der 4ℳer Granate. Soll also der Punkt des kleineren Kalibers denselben Weg wie der des größeren in der gleichen Zeit machen, so muß er sich schneller bewegen, d. h. die Geschosse müssen für gleiche Geschwindigkeit ihrer Oberflächen-Punkte sich nach umgekehrtem Verhältnisse ihrer Durchmesser drehen. Da bei gleichem Drallwinkel die Drallängen im Verhältnisse der Durchmesser stehen, und die Umdrehungen in einer Sekunde bei gleichen Geschwindigkeiten sich umgekehrt wie die Drallängen verhalten $\left(\frac{1055}{12}, \frac{1055}{15}, \frac{1055}{25}\right)$ so ist durch die gleichen Drallwinkel die gleiche Geschwindigkeit aller Oberflächenpunkte herbeigeführt. Diese gleiche Geschwindigkeit hat man für nothwendig gehalten, um bei allen Geschossen in gleicher Weise den Widerstand der Luft zu erregen. Es erklärt sich daraus, daß man einem Rohre, welches für gewöhnlich geringere Geschwindigkeiten ergiebt, einen kürzeren Drall, also einen größeren Drallwinkel giebt — deshalb hat der bronzene 12ℳer

den größten Drallwinkel unter den 4 Kalibern und deshalb wird ein gezogener Mörser einen noch kürzeren Drall erhalten müssen.

121. Machen wir uns nun von der Rotation der Geschosse zunächst die Vorstellung, wie wir einen Kreisel sich drehen sehen. So lange die Geschwindigkeit eine sehr große ist, scheint der Kreisel genau aufrecht zu stehen; sobald aber in Folge der Reibung auf dem Erdboden die Geschwindigkeit abnimmt, so fängt er an zu schwanken, und zwar immer stärker bis er umfällt. In der That nimmt der Kreisel zwei Bewegungen an: er setzt die Rotation um seine Axe fort, und diese Axe selbst beschreibt eine Kegelfläche, dessen Spitze mit der des Kreises zusammenfällt, weil durch die Reibung dieser Punkt festgehalten wird. Würde ein anderer Punkt der Axe fest sein, so würde ihre Drehung um diesen Punkt geschehen. Im

Fig. 65.

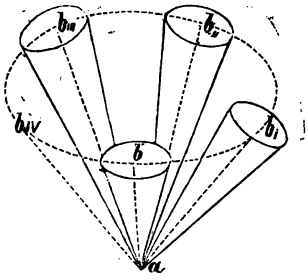
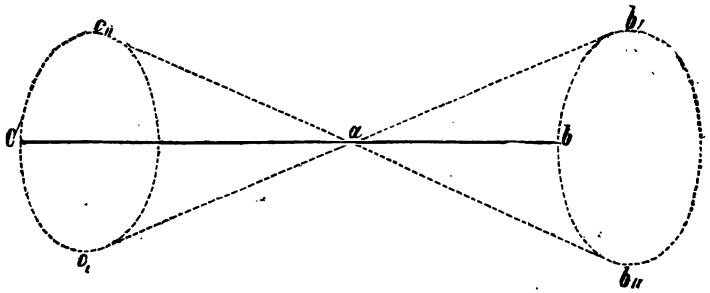


Fig. 66.



ersteren Falle, wo die Spitze fest ist, geht der Endpunkt b (Fig. 65) der Axe a b durch alle Punkte der Linie b bI bII bIII bIV; im zweiten Falle (Fig. 66), wo ein anderer Punkt der Axe fest ist, beschreiben die Endpunkte b und c die beiden Linien b bI bII und

c cI cII. Diese Erscheinung, welche sich auch bei unsern um die Längenaxe rotirenden Geschossen einstellt, nennt man das Pendeln derselben. Der Punkt, welcher bei ihnen festgehalten wird, ist der Schwerpunkt. Dieser beschreibt die Flugbahn, und seine jedesmalige Flugrichtung wird durch die Tangente der Flugbahn angedeutet. Die Tangente ist also die Linie, um welche die pendelnde Geschoßaxe ihre Kegelflächen beschreibt. Setzen wir das Pendeln vorläufig als Thatsache voraus, und untersuchen wir die Folgen desselben ohne alle besonderen Nebenrücksichten, welche noch zu besprechen sein werden. Wenn das Geschoß um die Tangente pendelt, was übrigens sehr langsam vor sich geht, d. h. nach bedeutenden Wegen je einmal herum, so wirkt der Luftwiderstand nicht allein gegen die Spitze, sondern auch seitlich, und zwar so, daß (Fig. 67 und 68) je nach der Lage der Axe a b zur Tangente c d

Fig. 67.

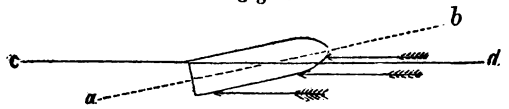
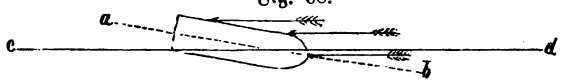


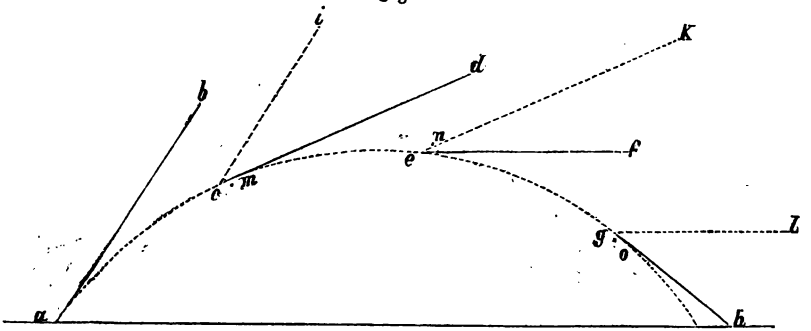
Fig. 68.



das Geschoß einmal nach rechts, einmal nach unten, dann nach links und endlich nach oben zurückgedrängt wird.

122. Stellen wir uns die Lage der aufeinanderfolgenden Tangenten vor, so sehen wir (Fig. 69), daß jede folgende unter die

Fig. 69.



vorhergehende geneigt ist. Einige davon seien a b, c d, e f, g h und die Linien c i, e h, g l seien den vorhergehenden Tangenten parallel; die Punkte m, n, o mögen die Entfernung der Geschoßspitze von der Tangente (in einem allerdings unnatürlichen Maßstabe) bezeichnen. Es zeigt sich dann:

1) daß bei der Lage der Spitze nach unten die Entfernung des Punktes m von der ursprünglichen Richtung c i nothwendig größer sein muß, als von der wirklichen Richtung c d,
2) daß bei der Lage der Spitze nach oben die Entfernung des Punktes n von der vorhergehenden Richtung e k nothwendig kleiner sein muß als von der Richtung e f, und
3) daß wieder der Punkt o von g l entfernter ist als von g h. Das heißt doch offenbar: Die Geschoßspitze hat einen größeren Weg zu machen, um von oben nach unten zu kommen, als wenn sie sich von unten nach oben bewegt. Steht man hinter dem Geschütze, so geschieht die Bewegung von oben nach unten auf der rechten Seite der Schußebene, jene von unten nach oben auf der linken Seite. Die Bewegung rechts dauert also länger als die links; hat also die Luft die Kraft, um ein Geschoß zurückzudrücken, oder vielmehr zu verzögern, so muß dies auf der rechten Seite mehr geschehen, als auf der linken. Wir folgern also: Weil die Geschoßspitze längere Zeit auf der rechten als auf der linken Seite der Schußebene sich bewegt, und deshalb mehr von der Schußebene entfernt wird, so ist die Möglichkeit gegeben, daß durch die längere Einwirkung des Luftwiderstandes bei der Rechtsdrehung*) das Geschoß nach dieser Seite abweiche.**) Diese Rechtsabweichung nennt man Deviation oder Derivation oder konstante Seitenabweichung. Es ist durchaus nicht ausgeschlossen, daß das Geschoß auch auf der linken Seite gedrängt werde, aber auf der rechten ist entschieden ein Ueberschuß.

123. Wir haben zu zeigen, wie ein solches Zurückdrängen oder Verzögern der Spitze überhaupt möglich ist.

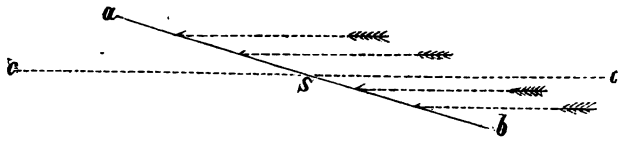
Denken wir wieder c d (Fig. 70) als die Richtung des Fluges und durch a b werde die Lage der Geschoßaxe in Bezug auf

---

*) Beim senkrechten Schusse kann demnach diese Art der Abweichung nicht vorkommen. Weil aber das Geschoß hierbei in Regionen kommt, welche wegen der größeren Entfernung vom Erdcentrum eine schnellere Erdrotation haben als das Geschoß, so wird dieses nach Westen zurückbleiben. Im Uebrigen hat die Abweichung in Folge der Erdrotation keine praktische Bedeutung.

**) Majewsky: De l'influence du mouvement de rotation etc.

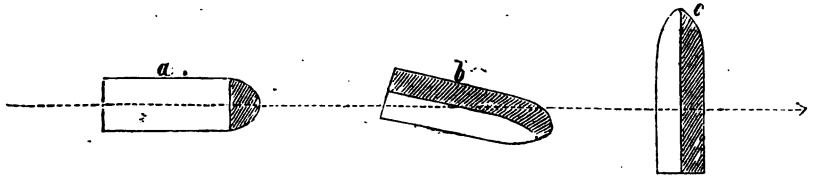
Fig. 70.



die Richtung c d dargestellt, während in S der Schwerpunkt liege. Der Luftwiderstand trifft dann parallel der Richtung c d und zwar auf einen gewissen Theil der Oberfläche des Geschosses. Wie man zwei Kräfte zu einer einzigen Mittelkraft vereinigt denken kann, so darf man dies auch bei vielen gleichzeitig, z. B. die Schwerkraft wirkt auf alle Punkte eines Körpers in parallelen Linien; alle diese Linien denkt man vereinigt, und die entstehende Mittelkraft bestimmt einen einzigen Punkt des Körpers, an welchem wirkend sie genau dieselbe Leistung giebt als alle einzelnen Kräfte an ihren Punkten zusammen. Diesen Punkt, den eigentlichen Mittelpunkt der Kräfte, nennt man bekanntlich den Schwerpunkt, und man beweist die Richtigkeit dieser Vorstellung dadurch, daß man durch Unterstützung des Schwerpunktes der ganzen Wirkung der Schwerkraft das Gleichgewicht halten kann. Ein solcher Mittelpunkt der Kräfte ergiebt sich auch beim Luftwiderstande und seine Lage läßt sich für jeden beliebigen, dem Luftangriffe ausgesetzten Theil der Oberfläche berechnen, wie der Herr Graf St. Robert gezeigt hat. Aus diesen Rechnungen geht für Geschosse von der Gestalt der unsrigen hervor, daß der Mittelpunkt des Luftwiderstandes immer vor dem Schwerpunkt des Geschosses liegt.

124. Man hat übrigens nicht anzunehmen, daß die Mittelrichtung des Widerstandes parallel der Flugrichtung sei. Stellt man sich nämlich das Geschoß in verschiedenen Lagen vor, so wird (Fig. 71) in der Lage a die Spitze des Geschosses direkt getroffen,

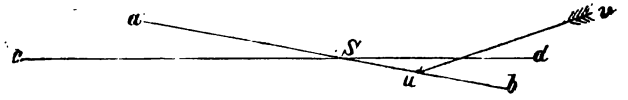
Fig. 71.



während der cylindrische Theil nur gestreift wird, in der Lage b wird je nach dem Winkel, welchen die Geschoßaxe mit der Flugrich-

tung bildet, ein durch eine Kurve bestimmter (hier schraffirter) Theil, in der Lage c die Hälfte der Oberfläche des Geschosses getroffen. Nach den Formeln des Herrn Grafen St. Robert hat der Herr General Majewsky von der Kaiserlich russischen Artillerie die Größe der getroffenen Oberflächentheile für jede beliebige Lage der Axe unserer, unter sich als ähnlich angenommenen Geschosse berechnet. Da, wie wir früher gezeigt, jeder Widerstandsstrahl die Oberfläche senkrecht angreift, so folgt, daß bei der verschiedenen Form der Oberflächentheile die Mittelkraft des Widerstandes sehr verschiedene Richtungen haben kann. Es ergiebt sich aus den Rechnungen, daß der Winkel, welchen diese Mittelkraft mit der Geschoßaxe bildet, bei jeder Lage größer ist als der Winkel dieser Axe mit der Tangente der Flugbahn, also etwa wie in Figur 72, wo a b und c d die

Fig. 72.



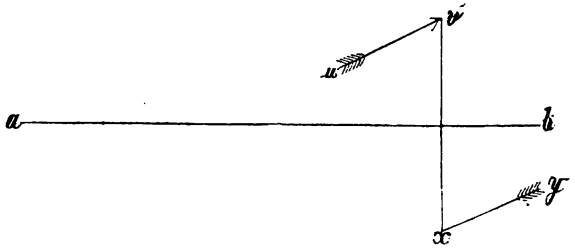
Bedeutung von vorhin haben, u aber den Mittelpunkt des Widerstandes und u v die Richtung der Mittelkraft desselben bezeichnen. Die Figur zeigt dann ohne besondere Auseinandersetzung die Möglichkeit einer Ablenkung durch den Luftwiderstand. Je größer der Winkel d S b wird, um so mehr wird dieser Einfluß wachsen, und über eine gewisse Größe hinaus würde er ein Ueberschlagen des Geschosses herbeiführen können.*)

125. Wodurch entsteht aber die Pendelung, d. h. die Drehung der Geschoßaxe um die Tangente der Flugbahn? Daß diese Pendelung während des Fluges vergrößert werden kann, ist nach dem Vorigen verständlich; wie entsteht aber der erste Akt? Um eine möglichst einfache Erklärung dafür zu erhalten, wollen wir uns aus der Physik erinnern, daß ein um eine Axe frei rotirender Körper das Bestreben hat, die Lage der Axe mit aller Kraft festzuhalten, wenn man voraussetzen darf, daß die Materie symmetrisch um diese Axe gelagert ist. Man kann sich dann vorstellen, daß das Streben zur Rotation hervorgebracht werde durch zwei unter sich pa-

*) Bei unseren Geschossen liegt der Mittelpunkt des Widerstandes immer vor dem Schwerpunkte; läge er hinter demselben, so könnte auch eine Linksabweichung hervorgerufen werden, weil die Pendelung dann linksseitig wird. Ein Versuch bei einem Belehrungsschießen der achten Brigade mit hölzernen Geschossen, deren Spitze mit Blei ausgefüllt war, hat dies bestätigt.

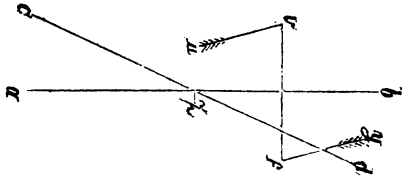
rallele und gleiche Kräfte x y und n v (Fig. 73), welche an gleichen Armen x w und v w in entgegengesetzter Richtung arbei-

Fig. 73.



ten. Im Rohre wird doch wirklich die Rotation durch solche seitlich wirkenden Kräfte hervorgerufen; diese Kräfte denkt man zu einem Mittelpaare zusammengesetzt und nennt dasselbe ein Kräftepaar. Es ist kein Grund aufzufinden, weshalb dieses Paar bei geradliniger Vorwärtsbewegung die Axe a b aus ihrer ursprünglichen Richtung entfernen sollte, und die Physik zeigt, daß auch bei krummliniger Bewegung ohne besondere äußere Ursachen die Axe ihre Lage nicht ändern kann, sondern mit sich parallel, also unter einem Winkel b z d (Fig. 74) mit der Tangente c d fortschreitet.

Fig. 74.



Da die Tangenten sich fortwährend senken, so nimmt dieser Winkel auch stetig zu. Dazu tritt die Einwirkung des Luftwiderstandes, dessen Mittelpunkt nahe der Spitze oder wenigstens vor dem Schwerpunkte des Geschosses sich befindet. Je größer der genannte Abweichungswinkel wird, um so mehr wächst auch der Winkel, welchen die Richtung der Mittelkraft des Luftwiderstandes mit der Richtung der Geschoßaxe bildet. Der hindernde Einfluß der Luft wird auch dadurch vergrößert, und es gelingt ihm, die Geschoßaxe aus ihrer ursprünglichen Lage zu entfernen. Dadurch entsteht ein Kampf zwischen der Rotation und den obengenannten Kräften, dessen erste

Folge man bei kleinen Ladungen deutlich mit bloßem Auge verfolgen kann: Das Geschoß schwankt ähnlich wie ein Kahn auf den Wellen, es hebt und senkt sich die Spitze, grade, als ob es in der Luft schwimme, was aber nicht mit den Pendeln zu verwechseln ist. Jede Rotation ruft die bekannten sogenannten Schwungkräfte hervor, welche streben, die einzelnen Punkte der Materie von ihrer gemeinschaftlichen Axe zu entfernen. Diese Kräfte würden, da sie auf allen Seiten gleichmäßig sind, bei unveränderter Richtung der Axe sich gegenseitig vernichten. Durch das bezeichnete Schwanken wird indessen die Einwirkung des Luftwiderstandes jeden Augenblick verändert, und dadurch erhalten die nach der entgegengesetzten Seite gerichteten Schwungkräfte das Uebergewicht, wodurch eine weitere Ablenkung der Axe hervorgerufen wird.

Alle Punkte des Geschosses haben das Streben, den Gesetzen der Flugbahnbildung zu folgen, d. h. jeder für sich seine, denen der übrigen Punkte parallele Parabel zu beschreiben. Diese ihnen innewohnende Kraft bildet die Gegenwirkung gegen alle bisher genannten ablenkenden. Jeder Punkt soll nun durch die Zusammenwirkung aller Kräfte um die Tangente seiner eigenen Bahn rotiren. Da das nicht gleichzeitig möglich ist, so werden alle in eine Mittelrichtung gezwungen, welche durch den Schwerpunkt geht und die Tangente der wirklichen Flugbahn und als Inbegriff aller Tangenten die Flugbahn selbst bildet. (Wie schon oben bemerkt, bestehen wir nicht auf Anerkennung der obigen Erklärung, glauben sie aber so berechtigt wie manche andere, und jedenfalls anschaulich genug, um sie als elementar hinstellen zu dürfen.)

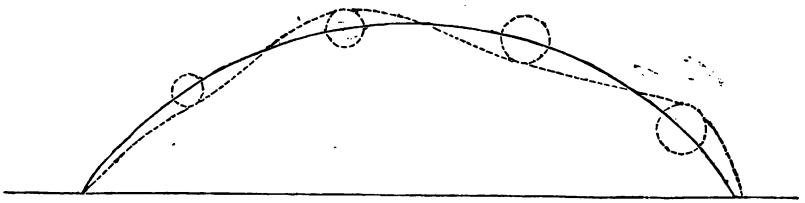
Die Praxis zeigt, daß es ein gewisses Maß der Rotation giebt, in Folge dessen die Geschoßaxe bei einer gewissen Ladung am ruhigsten der Flugbahn folgt. Dadurch bedingt sich die sogenannte Gebrauchsladung, während sowohl größere als kleinere Ladungen entschieden schlechter schießen. Die Gründe würden sich so ausdrücken lassen: Kleine Ladungen geben zu geringe Rotationsgeschwindigkeit, der kleine Luftwiderstand überwindet zu leicht die Stabilität der Geschoßaxe; die ganz großen Ladungen halten die Axe so fest in ihrer parallelen Lage, daß durch die daraus folgende Abweichung der Axe von der Flugrichtung fortwährend der Luftwiderstand in verschiedener Stärke erregt wird; die günstigste Gebrauchsladung giebt diejenige Geschwindigkeit, welche die Axe allerdings nachgeben, aber doch genug widerstehen läßt, damit das Streben der Massentheilchen, eine Parabel zu beschreiben, überwindend ist. Man verwendet deshalb für stärkere Ladungen einen geringeren Drallwinkel, während die ganz kleinen Ladungen eine Vergrößerung dieses Win-

kels bedingen, was die nächsten Versuche mit dem Mörserschusse zu entscheiden haben werden.

126. Aus dem Obigen erklären sich die Folgen der Rotation: 1) Um so gekrümmter eine Bahn ist, um so mehr weicht von vornherein die Geschoßaxe von der Tangente der Flugbahn ab. Größere Elevationen geben deshalb größere Rechtsabweichungen. Die höheren Elevationen werden auch durch kleinere Ladungen bedingt, während diese gleichzeitig geringere Rotationsgeschwindigkeiten geben, d. h. kleinere Ladungen geben größere Rechtsabweichungen. 2) Je länger die Flugzeit, um so größer wird bei gleichen Geschwindigkeiten der Einfluß des Luftwiderstandes, also: Größere Entfernungen geben gewöhnlich größere Rechtsabweichungen. Diese Gesetze sind die einzigen, welche für die Deviationen unbedingt feststehen, während alle Vorherbestimmungen der Größe der Deviationen insofern nicht unbedingt richtig sein können, als die Einwirkungen der Atmosphäre hier von viel größerer Bedeutung sind als für die Vorwärtsbewegung.

Für die Pendelung um die Tangente der Flugbahnen haben wir erkannt, daß die Deviation sich darstellt als Ueberschuß der Einwirkungen der Luft während der Pendelbewegung auf der rechten Seite der Schußebene über die auf der entgegengesetzten Seite. Darin liegt aber auch, daß, wenn der letzte Theil einer Pendelung linksseitig ist, diese Abweichungen zum Theil wieder aufgehoben werden können. Bei der Vorwärtsbewegung können wir den Raum, welchen die Geschoßspitze durchfliegt, uns nahehin vorstellen, wenn wir, wie in Figur 75, um die Flugbahn Kreise gelegt denken, de-

Fig. 75.



ren Durchmesser nach und nach nur ganz wenig größer werden, so daß im Allgemeinen bei verschiedenen Witterungsverhältnissen nicht bedeutende Ungleichmäßigkeiten eintreten können. (Die Geschoßspitze würde die punktirte doppelgekrümmte Kurve, eine Art Schraubenlinie, beschreiben.)

127. Hieran schließen wir die in Bezug auf die Rotation und die Deviation gemachten Beobachtungen, von denen zuerst die uns entgegentritt, daß die Deviationen meist sehr regelmäßig sind, so daß wir durch besondere Einrichtungen bei der Artilleriepraxis sie unschädlich machen können. Unterscheiden wir die beiden Ausdrücke: Seitenabweichung statt Deviation des einzelnen Schusses und Seitenabweichung als Bild für die gegenseitige Lage mehrerer Schüsse auf dem Erdboden oder auf der Scheibe, so sind die letzteren gemeint, wenn man den vorigen Satz so hinstellt:

Im Vergleich zu den glatten Geschützen sind die Verschiedenheiten der Seitenabweichungen der Geschosse aus gezogenen Geschützen unter sich sehr klein. Dies geht aus den Trefffähigkeitstabellen hervor; wollen wir aber die Größe der Deviationen beurtheilen, so müssen wir in die Schußtafel gehen unter der Aufschrift „Seitenverschiebungen". Die Flugbahn hat offenbar neben der uns bekannten Krümmung noch eine seitliche, welche im Allgemeinen mit der Entfernung wächst. Von dieser Krümmung macht die Seitenverschiebung des Aufsatzes unabhängig, wie seine Höhenverschiebung von dem Terrainwinkel.

Fig. 76.

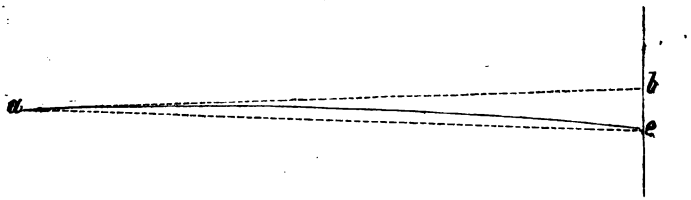
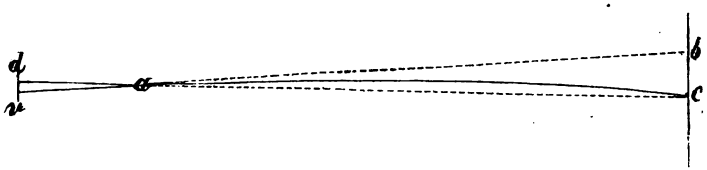


Fig. 77.



128. In Figur 76 sei von oben gesehen a b die Richtung der Seelenaxe des Geschützes, so wird das Geschoß durch die Deviation nicht nach dem Ziele, sondern nach c gebracht. Wir haben die Aufgabe, den Treffpunkt c nach b zu verlegen, oder mit anderen Worten, die Linie a c in die Richtung von a b zu bringen,

und müssen deshalb um das Stück b c links von b zielen. Die richtige Wahl des Zielpunktes würde auf großen Entfernungen sehr schwer zu erreichen sein. Darum verschiebt man (Fig. 77) den Aufsatz so weit nach links, als die Schußtafel für die Entfernung a b angiebt, und erhält den Vortheil, ohne Veränderung des Zielpunktes diesen auch zu treffen. Die nöthige Anzahl der Sechzehntel Zoll der Seitenverschiebung ist für verschiedene Entfernungen und Ladungen durch Versuche ermittelt worden, und wir erhalten die Größe der Deviation, wenn wir die Anzahl der $^1/_{16}$ Zoll multipliziren mit der Zahl, welche anzeigt, um wie viel Fuß der Treffpunkt durch $^1/_{16}$ Zoll Seitenverschiebung zur Seite verlegt wird.

Beispiel: Bei der 24 Zer Granate mit 4 Pfund haben wir auf 2000 Schritt $^3/_{16}$ Seitenverschiebung, $^1/_{16}$ bewirkt eine Verlegung des Treffpunktes von 2,6 Fuß, folglich beträgt die Deviation $3 \cdot 2{,}6 = 7{,}8$ Fuß. Bei 3 Pfund ist die Seitenverschiebung $4^1/_2$, also die Deviation $4^1/_2 \cdot 2{,}6 = 11{,}7$ Fuß. Die in den Schußtafeln verzeichneten Seitenverschiebungen geben also eine Vorstellung von der Größe der Deviation, jedoch müssen wir darauf aufmerksam sein, daß sie in ihrer Gesammtheit durch Interpolation ermittelt, nur ein Ausdruck für ein Mittel aus vielen Beobachtungen sind, daß sie nicht immer unbedingt zutreffen, und daß sie nur dies allgemeinste Gesetz der Deviationen geben, weil Witterungsverhältnisse sie leicht ändern. Es ist von selbst klar, daß wir zwischen verschiedenen Geschützen nach den Seitenverschiebungen als solchen nicht schließen dürfen, sondern daß wir jene genannten Produkte bilden müssen, weil die ersteren von der Länge der Visirlinie abhängig sind, so daß wir sie zu betrachten haben als Quotienten der Deviation, dividirt durch die durch $^1/_{16}$ Zoll bewirkte Verlegung des Treffpunktes.

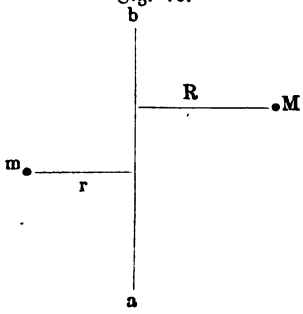
Obgleich die Deviationen sehr verschieden ausfallen können, so zeigt sich doch, daß sie bei einem längeren Schießen gewöhnlich sehr regelmäßig sind, wie wir schon bemerkt haben.

129. Diese Regelmäßigkeit ist im Allgemeinen abhängig von der Form und der Massenvertheilung des Geschosses; indessen sind die Beobachtungen noch weit entfernt, so richtige Schlüsse ziehen zu lassen, um die Theorie überall bestätigt zu sehen, weil es außer der Beobachtung der Aufschläge kaum ein Mittel giebt, die Rotation zu verfolgen, deren wichtigste Momente doch in den verschiedenen Lagen der Geschoßaxe zur Tangente der Flugbahn zu suchen sind. Außerdem ist die Mannigfaltigkeit noch zu gering, als daß man bei der Jugend und dem dringlichen Bedürfnisse der gezogenen Geschütze nicht vorläufig zufrieden sein sollte mit dem Besitze hin-

reichend guter Geschosse. So ist beispielsweise die Frage in Bezug auf dünne oder dicke Bleimäntel durch theoretische Erörterungen entschieden nicht zu erledigen, und in der That hat sie die anscheinend beste Beantwortung durch die Praxis erfahren: Shrapnels erhalten dünne Bleimäntel, um möglichst großen inneren Raum zu gewähren, Granaten behalten vorläufig dicke Bleimäntel, weil man bei ausreichender Sprengladung von ihnen auch bedeutende Festigkeit verlangen muß — man sieht aber auch aus dieser letzten Bedingung, daß die Dicke der Bleimäntel ganz Nebensache ist, daß vielmehr die möglichste Einschränkung der Formen bei der Ausrüstung und die großen Zahlen der Bestände entscheidender sein dürften, daß also der Zukunft noch durchaus nicht vorgegriffen ist.

130. Den Einfluß der Form und der Massenvertheilung bringt man zum Ausdrucke durch die Darstellung der sogenannten Trägheitsmomente oder des Beharrungsvermögens, mit welchem die Geschosse ihre Lage gegen äußere Einflüsse zu bewahren im Stande sind. Besprechen wir den Begriff des Trägheitsmomentes, überlassen es für jetzt aber noch dem Leser, die Schlüsse zu verfolgen.

Fig. 78.



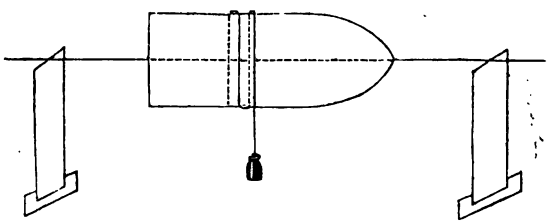
Sei a b (Fig. 78) eine Rotationsaxe und bezeichnen m und M zwei schwere Punkte, welche fest mit ihr verbunden sind in den Abständen r und R. Die Richtungen beider Linien legen bei der Rotation um a b offenbar gleiche Winkel zurück, und man sagt, sie haben gleiche Winkelgeschwindigkeit, welche durch v ausgedrückt sein möge. Beide Punkte beschreiben Kreislinien, welche sich verhalten wie $r : R$ ($2 r \pi : 2 R \pi$); sie vollenden sie in gleichen Zeiten, mithin muß der Punkt M eine größere Geschwindigkeit haben als m und zwar nach dem Verhältnisse $R : r$. Bezeichnen wir diese relativen Geschwindigkeiten durch r v und R v und bedenken, daß die jetzt den Punkten innewohnende Kraft das Produkt aus Masse mal Geschwindigkeit ist, so haben beide die Bewegungsgrößen m r v und M R v. Wenn beiden Punkten sich ein Widerstand entgegensetzen würde, dann träfe diesen der Punkt m mit seiner Bewegung m r v an dem Hebelsarm r wirkend, also mit der Gewalt $m r v . r = m r^2 v$, der andere Punkt mit $M R^2 v$. Dieses Produkt $m r^2 v$, welches ein Ausdruck ist für die Kraft, mit welcher ein rotirender Punkt einem

äußeren Widerstande entgegentritt, nennt man das Trägheitsmoment des Punktes. Wir sehen also, daß wenn die äußeren Punkte unserer verschiedenen Geschosse auch gleiche relative Geschwindigkeiten haben in Folge der gleichen Drallwinkel, doch die Trägheitsmomente dieser Punkte bei großen Kalibern größer sind, weil zu jenen Geschwindigkeiten noch der größere Faktor R hinzutritt.

Das ganze Geschoß besteht aus einer großen Zahl materieller Punkte; jeder derselben hat sein eigenes Trägheitsmoment und das Moment des ganzen Geschosses ist die Summe derer aller Punkte. Daraus folgt, daß größere Geschosse größeres Beharrungsvermögen haben als kleinere von ähnlicher Form. Auch Vollgeschosse und bei sonst gleichen Verhältnissen Geschosse mit dicken Bleimänteln (weil das Blei schwerer ist als Eisen) sind im Vortheile — aber man muß sich hüten, nach dem bloßen Beschauen einer Zeichnung über das Verhältniß der Trägheitsmomente schließen zu wollen, weil die Summirung aller den einzelnen Massenpunkten angehörigen Momente nur durch oft sehr mühsame Anwendung der Integralrechnung möglich ist.

Zu dem Begriffe des Beharrungsvermögens gehört, wie der Angriff auf einen Widerstand, gleichmäßig der Widerstand eines Körpers gegen eine Bewegung nach dem Grundsatze der Natur, daß die Gegenwirkung gleich der Wirkung ist. Wollte man praktisch die Trägheitsmomente zweier Geschosse vergleichen, so dürfte es deshalb wohl ausführbar sein, zu untersuchen, welche Kraft verlangen sie, um zur Rotation gezwungen zu werden. Diese Kraft würde man zum Vergleiche ermitteln, indem man durch das Geschoß eine dünne Axe führt und an der Peripherie ein kleines messendes Gewicht wirken läßt. (Fig. 79.)

Fig. 79.



Man kann für jede beliebige Linie, welche man als Rotationsaxe ansehen will, ein Trägheitsmoment finden, wie man z. B. eine runde Granate in glatten Röhren beliebig legen kann. Diejenige

Axe, welche dann das größte Trägheitsmoment hat, giebt die regelmäßigste Flugbahn. Weil die Längenaxe unserer neuen Geschosse so entschieden größer ist, als das jeder andern Linie in ihnen, so liegt hierin der Grund für die Regelmäßigkeit unserer Flugbahnen als Folge der Größe des Trägheitsmomentes.

131. Von besonderem Interesse sind die Beobachtungen, welche wir selbst beim Schießen unter hohen Elevationen bis 37½ Grad gemacht haben. Die Verwendung hoher Elevationen bezweckt die Erreichung großer Einfallwinkel, um noch mehr als beim indirekten Schusse jedes Hinderniß überschießen zu können. Dieser Mörserschuß wird deshalb namentlich seine Verwendung finden in den bisherigen Enfilirbatterien zum Bewerfen traversirter Wallgänge und der Collateralwerke. Seine seitlichen Streuungen gewähren eine bedeutende Trefffähigkeit. Der 24 ℔er wirft bei 2 Pfund Ladung unter 37½ Grad schon auf 4000 Schritt, und daraus ist zu ersehen, daß die zur Verwendung kommenden Ladungen sehr klein sein werden. In der That ist aus diesem Geschütze selbst mit 0,5 ℔ geworfen worden. Die erreichten mittleren Schußweiten zeigten eine überraschende Gesetzmäßigkeit und ließen sich sehr genau durch ballistische Formeln berechnen. Wir dürfen die hierbei ermittelten Gesetze also in derselben Weise zu Folgerungen und Erklärungen benutzen, wie es bei stärkeren Ladungen mittelst derselben Rechnungen geschehen ist.

Wir haben früher (in einem anderen Buche) wissenschaftlich bewiesen, daß man bei den Flugbahnen des flachen Schusses die Annahme als sehr nahe richtig betrachten darf, daß das Geschoß mit seiner Axe in der Richtung der Tangente liege, also nur den seine Spitze direkt treffenden Luftwiderstand zu tragen habe. In Wirklichkeit kann dies nach den vorigen Auseinandersetzungen nicht ganz richtig sein, da wir in diesem Falle unmöglich Deviationen erhalten könnten. Ganz sicher ist dies nun bei kleinen Ladungen nicht richtig, wo wir mit bloßem Auge das Pendeln oder wenigstens das Schwanken der Geschosse verfolgen können. Der Luftwiderstand muß also nothwendig größer sein, weil das Geschoß in der Vorwärtsrichtung größere Flächen darbietet. In der That zeigen die Rechnungen das Wachsen der Luftwiderstandskonstante mit dem Abnehmen der Ladungen oder Geschwindigkeiten nach einem bestimmt ausgeprägten Gesetze. Daß dies bei den bedeutenderen Ladungen sich nicht schon früher zeigte, läßt darauf schließen, daß die Rotationsbedingungen unserer Geschütze als hinreichend günstig

anzusehen sind.*) Das ist nicht Zufall, sondern Resultat langer Versuche, welche von unserer Artillerie-Prüfungs-Kommission manches Jahr vor der offiziellen Einführung der Geschütze gemacht worden sind. Der 24Ter hatte zu Anfang einen Drall von 60 Fuß Länge; da aber früher mit sehr starken Ladungen nicht geschossen wurde, so wuchs die Trefffähigkeit mit der Verkürzung des Dralles. In noch höherem Grade wird der Drall des Mörsers zu verkürzen sein.

Wir stellen also zunächst den Erfahrungs-Satz auf, daß es keine Luftwiderstandskonstante giebt, welche allen Ladungen gleichzeitig angehörte, daß aber die Gesetze der Flugbahnbildung für alle Ladungen gleich sind, insofern eine und dieselbe mathematische Formel mit der für eine Ladung ermittelten Widerstandskonstante alle Schuß- und Wurfweiten dieser Ladungen mit großer Genauigkeit ergiebt.

132. Die Formeln, nach welchen diese Rechnungen ausgeführt werden, sind dieselben, welche für größere Ladungen als richtig erkannt sind. Diese Formeln bewiesen, daß man in der Praxis die Bahnen kleinerer Entfernungen als Theile einer größeren, überspannenden Bahn ansehen darf, und so leiten wir daraus als mit großer Wahrscheinlichkeit richtig ab, daß man auch bis vorläufig zu Elevationen von $37\frac{1}{2}$ Grad die Sätze von dem Schwenken der Bahnen für die Praxis verwerthen darf.*) Sobald die Kenntniß des Mörserschusses, welcher jetzt zu den wichtigsten Fragen der Artillerie gehört, weiter ausgebildet sein wird, werden wir in einer besonderen Arbeit einen Versuch über seine wissenschaftliche Darstellung vorlegen, für welchen die Vorarbeiten sich schon sehr günstig gesammelt haben. (Dieser Andeutungen wollen wir uns noch einmal weiter unten bedienen bei Besprechung der Trefffähigkeit verschieden langer Röhre.)

---

*) Die Unterschiede der Luftwiderstandskonstanten sind bei den günstigsten Ladungen so gering, daß sie durch Witterungsverhältnisse leicht durcheinander gemischt werden, andererseits aber auch in Folge der Geschoßstreuungen schwer zu erkennen, also leicht zu übersehen sind.

**) Diese Elevation oder etwa 40 Grad giebt die größte Schußweite und bildet dann auch die Grenze dieses Satzes. Wenn übrigens Versuche sollen eine bestimmt in Graden ausgedrückte Elevation (z. B. 42 oder 43 Grad) als die der größten Schußweite angegeben haben, so ist das zu bezweifeln, da die großen Längenstreuungen das gar nicht entscheiden lassen. Diese Bestimmung bleibt der Rechnung oder der graphischen Interpolation vorbehalten.

F. Von der Kraft der Geschosse gezogener Geschütze.

133. Es ist bekannt, daß die Langgeschosse im Ernstgebrauch sich wesentlich durch die Kraft, mit welcher sie feste Ziele zerstören, von den Kugeln der glatten Geschütze unterscheiden. Allerdings giebt es theoretische Merkmale, die Kräfte verschiedener Geschosse zu unterscheiden, die Praxis der Artillerie hat aber beim Beschießen von Eisenpanzern Gelegenheit gehabt zu sehen, daß die Theorie noch nicht allein genügende Grundlage giebt. Wir wollen Theorie und Praxis so weit besprechen, als es zum Verständniß nöthig ist. Theoretisch unterscheiden wir die Perkussionskraft von der lebendigen Kraft, oder praktisch die Anschlags- von der Durchschlagskraft. Unter Perkussionskraft versteht man das Produkt aus der Masse (Gewicht) und der Geschwindigkeit des Geschosses; sie ist ein Ausdruck für die Gewalt, mit welcher das Geschoß einen Stoß ausübt oder einen Widerstand zurückdrängen kann; z. B. beschießen wir ein Schiff, so wird das treffende Geschoß dasselbe, wenn es nicht eindringt, zurückschieben. Es geht daraus hervor, daß die Perkussionskraft absolut feste oder andererseits elastische Körper voraussetzt, von welchen das Geschoß zurückgeworfen wird, also abprallt ohne einzudringen. Beide Voraussetzungen entsprechen bei der verschiedenen Festigkeit der Zielmaterialien nicht genau der Wirklichkeit. Wir wenden uns zunächst der lebendigen Kraft zu, welche dargestellt wird als Produkt aus der Masse und dem Quadrate der Geschwindigkeit des Geschosses und ein Ausdruck für die Kraft des Eindringens in feste Materialien ist.

134. Wir haben einen mathematischen Begriff zu erklären, welcher im praktischen Leben oft mit dem Gewichte der Körper verwechselt wird, was bei allen Vergleichen allerdings auch geschehen darf. Nämlich man nennt den Quotienten aus Gewicht eines Körpers durch die Zahl g ($31\frac{1}{4}$) die Masse des Körpers; also wenn M die Masse wäre, P das Gewicht, so würde sein $M = \frac{P}{g}$, welcher Ausdruck weiter nichts als eben ein mathematisches Zeichen ist. Es findet seinen Grund in Folgendem: Das Gewicht ist an und für sich keine Eigenschaft der Materie (M), sondern es ist die Wirkung der Schwerkraft oder der Anziehung der Erde, welche bemüht ist, jedem nicht unterstützten Körper eine Fallgeschwindigkeit von $31\frac{1}{4}$ Fuß in einer Sekunde zu geben. Man mißt nun eine Kraft durch das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit, und da das Gewicht die Wirkung einer Kraft ist, welche wir zum Messen anderer Kräfte benutzen, so stellt man dieselbe als Einheit

hin, und ſagt nun: eine Kraft ſei z. B. dreimal ſo groß als die Schwerkraft, wenn ſie der Maſſe eine dreimal ſo große Geſchwindigkeit ertheilt, als es die Schwerkraft thut. Weil nach dem Obigen das Gewicht immer der Maſſe proportional iſt, ſo ſetzt man in der Praxis auch das Eine für die Andere.

135. Hieran ſchließt ſich ein anderer Ausdruck: Die Arbeit einer Kraft, welche gemeſſen wird durch die Benennung: Fußpfund. Iſt nämlich eine Kraft im Stande, ein Pfund in einer Sekunde einen Fuß hoch zu heben, ſo ſagt man, die Arbeit dieſer Kraft betrage ein Fußpfund; hebt ſie 4 ℔ in einer Sekunde 6 Fuß hoch, ſo leiſtet ſie 4 . 6 = 24 Fußpfund. Wir haben ſchon bei Betrachtung der Schwerkraft den Unterſchied zwiſchen momentanen und konſtanten Kräften angedeutet; daraus geht hervor, daß, wenn eine Kraft hebt, ſie jedenfalls eine konſtante, fortwährend wirkende ſein muß.

Der Charakter einer konſtanten Kraft iſt der, dem bewegten Körper eine ſteigende Geſchwindigkeit zu ertheilen, oder, wenn ſie entgegenſtrebt, die Geſchwindigkeit fortwährend zu verringern, alſo in der Weiſe auf ihn zu wirken, wie es von der Schwerkraft geſchieht, d. h. ebenſo wie bei dieſer werden die Geſchwindigkeiten ſich verhalten wie die verwendeten Zeiten, die zurückgelegten Wege, oder die Strecken, um welche ſie andererſeits die Bewegung behindern, aber wie die Quadrate der Zeiten, alſo auch wie die Quadrate der Geſchwindigkeiten. Beim Heben der Körper hat die Kraft der Schwere entgegenzuwirken, alſo einen Widerſtand zu überwinden. In derſelben Weiſe kann nun die Wirkung einer Kraft jedem anderen Widerſtande entgegenarbeiten. Denn denken wir an unſere Panzerplatten, ſo wohnt ihnen eben eine Kraft inne oder wird hervorgerufen, welche die Kraft des Geſchoſſes zu vernichten ſucht, und welche ihr Widerſtand genannt wird. Wie man die Schwerkraft meſſen könnte durch die Größe des Weges, um welchen ſenkrecht zu ſteigen ſie einem Geſchoſſe geſtatten würde, wobei natürlich von einer zweiten entgegenwirkenden Kraft, dem Luftwiderſtande, abzuſehen iſt, ſo kann man den Widerſtand der Panzerplatte meſſen durch den Weg, um welchen ſie ein Geſchoß in ſich eindringen läßt. Wir wiſſen, daß ohne Luftwiderſtand ein ſenkrecht hoch getriebenes Geſchoß eine ſolche Höhe h erreichen würde, bis $h = \frac{v^2}{2g}$ oder $P \cdot h = \frac{P v^2}{2g}$ ſein würde, wo v die Anfangsgeſchwindigkeit und P das Gewicht bezeichnen, d. h. alſo, wir wiſſen, daß die Steighöhen in dem Verhältniſſe der Quadrate der Geſchwindigkeiten ſte-

hen, oder, was hier dasselbe ist, daß die Arbeit der Kraft, durch welche das Geschoß zum Steigen gezwungen ist, dem Quadrate der Anfangsgeschwindigkeit proportional ist.

Erinnern wir uns nun, daß man $\frac{P}{g}$ durch M als Ausdruck der Masse darstellt, so wird jener Ausdruck $P\,h = {}^1/_2\,M\,v^2$ und dies würde in Worten heißen: Die Arbeit der Kraft ist gleich dem halben Produkte aus der Masse und dem Quadrate der Geschwindigkeit.*) Dieses Produkt $^1/_2\,M\,v^2$ nennt man die lebendige Kraft. Bei der Schwere durften wir setzen P h, weil der Widerstand eben in den P Pfunden des Geschosses bestand.

136. Haben wir aber einen anderen Widerstand w in Rechnung zu setzen, so werden wir natürlich als Arbeit setzen müssen w h. Die hieraus hervorgehende Gleichung heißt dann $w\,h = {}^1/_2\,M\,v^2$, woraus wir ableiten dürfen $h = \frac{{}^1/_2\,M\,v^2}{w}$.

Da bei einer und derselben Geschoßart die Masse und bei derselben Platte der Widerstand gleich sind, so sagt diese Gleichung, die Erniedrigungstiefen verhalten sich wie die Quadrate der Geschwindigkeiten.

Daß die Form der Geschosse von großem Einfluß sein muß für die Größe der Eindringungstiefen, ergiebt sich noch deutlicher als beim Durchschneiden der Luft. Setzen wir also zunächst voraus, die Geschosse der verschiedenen Kaliber seien mathematisch ähnlich. Da die lebendigen Kräfte auch von der Größe der Masse abhängig sind, und die Massen sich verhalten müssen wie die 3ten Potenzen der Durchmesser, so folgt daraus die große Ueberlegenheit der größeren Geschosse. Bedenken wir aber, daß diesen wieder eine größere Widerstandsfläche entgegentritt, und daß diese Flächen sich wie die Quadrate der Durchmesser verhalten, so wird man mit dem Vorigen zusammen den Satz erhalten: Bei gleichen Geschwindigkeiten verhalten sich die Eindringungstiefen unserer verschiedenen Geschosse direkt wie die Kuben und indirekt wie die Quadrate der Durchmesser, also wie $\frac{D^3}{D^2} : \frac{d^3}{d^2}$, folglich wie D : d, d. h. wie die Durchmesser. (Siehe Vorbemerkungen zu den allgemeinen Schußtafeln, 1864.)

*) Streng genommen ist die Arbeit gleich dem Verlust an lebendiger Kraft, da wir hier aber immer mit der Größe der Arbeit bis zu der Ruhe des Geschosses, also bis zu der Geschwindigkeit Null zu thun haben, so ist der Verlust $= {}^1/_2\,M\,v^2 - 0$ also $= {}^1/_2\,M\,v^2$.

137. Welchen Einfluß die Form hat, können wir hier wie gegen die Luft ermessen, wenn wir die Kräfte, mit welchen die Theile der zu durchdringenden Materie zur Seite gedrängt werden müssen, wieder so zerlegen, daß der Angriff auf die Spitze des Geschosses senkrecht gegen jeden Punkt der Oberfläche erfolgt. Es wird dann diejenige Form im Vortheile sein, für welche die Summe aller dieser Kräfte am kleinsten ist. Es scheint, als sei dies der Fall für die Spitze von der Form eines Konus. Das läßt sich zunächst nur durch sehr umfangreiche Rechnungen darthun, und diese Rechnungen zeigen, daß, wie er auch die Wirklichkeit ergeben hat, die konische Spitze durchaus nicht nothwendig besser eindringt, als die ogivale. Wenn nämlich der Konus sehr schlank ist, wie der hintere Theil der ogivalen Spitze, dann muß er so lang werden, daß seine Oberfläche die der anderen Form bedeutend an Größe übertrifft.*)

138. Bei diesen Betrachtungen haben wir nicht blos an Eisen-Panzer zu denken, sondern sie beziehen sich auch auf andere Materialien, als Stein, Holz und Sand. Es versteht sich von selbst, daß die Eindringungstiefe h um so größer sein wird, je kleiner der Widerstand w ist, und das ist um so mehr der Fall, je weicher die zu durchdringende Masse ist. Die bezüglichen Notizen in der Schußtafel geben Belege dafür.

In der Artilleriepraxis stellen sich die Beobachtungen nicht so scharf begrenzt, wie es die Theorie verlangen würde. Das kommt vorzüglich von dem so sehr verschiedenen Einflusse in der Beschaffenheit der Materialien und zwar sowohl der beschießenden als der beschossenen.

Es ist nicht allein die Härte des Geschosses, welche die Eindringungstiefen vergrößert; es ist auch nicht allein die Härte des Zieles, welche die Eindringung hindert. Von gleicher Wichtigkeit ist für beide Theile die Elasticität, welcher wohl die Theorie, noch nicht aber die Technik nach jeder Richtung Rechnung tragen kann. Aus diesem Grunde ist es nicht verwerflich, wenn man durch die verschiedensten Konstruktionsversuche, oder durch die Verwerthung verschieden harter Materialien sowohl den Angriff als die Vertheidigung von Panzern zu stärken suchte. Immer aber gelten für ganz gleiche Verhältnisse die theoretisch entwickelten Sätze.

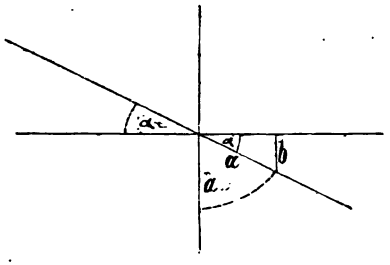
139. Zu diesen gleichen Verhältnissen haben wir außer der

*) Es ist auch versucht worden, mit Geschossen, welche vorn platt abgeschnitten waren, den Panzer zu durchdringen, indessen ohne bemerkenswerthen Erfolg.

Beschaffenheit des Materials auch die Winkel zu rechnen, unter welchen der Anschlag erfolgt. Offenbar kann der größte Effekt nur erreicht werden, wenn der Anschlag genau senkrecht ist. Es ist ja bekannt, daß, da es absolut unelastische Körper nicht giebt, jedem Anschlage ein Abprall folgt, wenn die Kraft des Eindringens nicht die Elasticität überwindet; ein Abprallen findet um so mehr statt, je mehr der Anschlag von der senkrechten Richtung abweicht. Versuche haben gezeigt, daß unsere Geschosse in sehr festes Mauerwerk bei 60 Grad Einfallwinkel oder bei 30 Grad Abweichung von der senkrechten Richtung durch die gewöhnlichen Gebrauchsladungen noch unbedingt eindringen, daß es aber bei 30 Grad Einfallwinkel einiger auf denselben Punkt treffenden Schüsse bedarf, um das Material entweder hinreichend zu lockern oder vor der Schußrichtung gewissermaßen einen Kamm zu bilden, welcher das Abprallen verhindert. Die Geschosse dringen immer in ihrer letzten Richtung in das Ziel ein; daraus ergiebt sich aber unmittelbar, daß aus einem schrägeren Anschlage nur geringere Eindringungstiefen folgen können, wenn wir diese nach der senkrechten Entfernung der Oberfläche messen. Ob dann die größere Tiefe nach der senkrechten Richtung oder der längere Kanal näher der Richtung der Oberfläche für einen beabsichtigten Zweck vortheilhafter ist, gehört zu den Fragen der Praxis. Wollen wir z. B. ein mit Erde bedecktes Gewölbe zerstören, so kann es nothwendig sein, die deckende Erde zunächst zu entfernen. Dies geschieht natürlich am einfachsten durch horizontale Schüsse, welche lange Kanäle erzeugen und in Verbindung mit der Sprengwirkung der Granaten große Massen gelockerten Erdreiches zur Seite schleudern. Dagegen wird man zur Zerstörung der Gewölbe möglichst senkrechte Würfe verwenden.

Da wir nicht im Stande sind, ein Gewölbe senkrecht zu bewerfen, so fragt es sich, welchen Einfluß die Größe des Einfallwinkels hat. Die lebendige Kraft kann durch die Richtung nicht verkleinert werden, diese ist eben $\frac{1}{2} M v^2$.

Fig. 80.



Wäre a (Fig. 80) bei senkrechtem Falle die Eindringungstiefe, so würde bei schrägem Falle die Größe der Arbeit eben so groß sein, aber die Tiefe b ist um so geringer, je kleiner der Winkel α ist, und sie drückt sich mathematisch aus durch die Formel $b = a \sin \alpha$. Da a der lebendigen Kraft proportional ist, so finden wir $b = \frac{1}{2} M v^2$. Um eine Vorstellung von der Wichtigkeit der Einfallwinkel für die Eindringungstiefen zu geben, möge diese kleine Tabelle folgen:

sin 90°	= 1	sin 40°	= 0,6428
= 70°	= 0,9397	= 30°	= 0,5
= 60°	= 0,8660	= 20°	= 0,3420
= 50°	= 0,7660	= 10°	= 0,1736

Wollen wir hieraus einige Sätze für die Praxis ableiten, so folgt zunächst, daß wir streben müssen, möglichst große Einfallwinkel zu erhalten. (Bei hohen Elevationen besteht der Vortheil in der Größe der Einfallwinkel, nicht in der der Fallhöhe.)

140. Uebertragen wird die Geschwindigkeit der Geschosse in Ladung und setzen vorläufig gleiche Entfernungen voraus, so erhalten wir folgenden Satz: Unter sonst gleichen Umständen verhalten sich die Eindringungstiefen wie die Ladungen.*) (Denn diese verhalten sich wie die Quadrate der Geschwindigkeiten.) In Bezug auf annähernde Rechnungen dürfen wir bei hohen Elevationen die Einfallwinkel den Richtungswinkeln ungefähr gleich setzen, und, wie wir schon besprochen haben, die Endgeschwindigkeiten nähern sich den Anfangsgeschwindigkeiten. Große Einfallwinkel sind nur durch geringe Ladungen zu erreichen, d. h. mit großen Einfallwinkeln sind geringe Geschwindigkeiten verbunden. Beim praktischen Schießen wird es sich gegen horizontale Ziele also um die Frage handeln, ob die Vergrößerung des Einfallwinkels so viel Vortheil giebt, daß der Mangel an Geschwindigkeit aufgegeben wird.

Beispiel: 4 ℔ des 24 ℔ers geben auf 3000 einen Einfallwinkel von etwa 10 Grad, 2 ℔ dagegen von etwa 25 Grad bei 20 Grad Elevation. Die lebendigen Kräfte verhalten sich wie 4 : 2 oder 2 : 1, die sinus der Einfallwinkel nahe wie 0,17 : 0,4, also etwa wie 1 : 2,3. Daraus ergiebt sich, daß die Wirkung von 2 ℔ etwas größer ist. Dieselbe Wurfweite läßt sich mit 2 ℔ erreichen, bei der Elevation von ungefähr 70 Grad, wie wir bei der Besprechung der Parabel gesehen haben. Der Einfallwinkel

*) Man bedenke, daß das Verhältniß unserer Ladungen bei ihrer Kleinheit sich sehr wenig von dem ihrer Quadratwurzeln unterscheidet.

würde eben so groß und der sin 70° also 0,94 sein, d. h. $5\frac{1}{2}$ mal so groß als für 4 K. Die kleinere Ladung würde für diesen Zweck entschieden vorzuziehen sein, und zwar schon bei jeder Elevation, welche überhaupt größer ist als 20 Grad. Denken wir hierbei an die Theorie der Flugbahnen, also daran, daß unterhalb 45 Grad jede größere Elevation auch eine größere Wurfweite bedingt, so folgt, daß man Vergrößerung der Einfallwinkel nur erreichen kann durch Vergrößerung der Entfernung, durch Rückwärtslegen der Batterie, so lange wir nicht einen wirklichen Mörser haben, d. h. nicht ein Geschütz, welches steilere Flugbahnen giebt, sondern eine Laffete, welche größere Elevationen gestattet.

Diese Beziehungen lassen sich vielfach kombiniren, z. B. bei gleicher (Wurf-) Elevation geben zwei verschiedene Ladungen auf verschiedenen Entfernungen ungefähr gleiche Einfallwinkel — es folgt also: Bei gleicher Elevation erhält man für verschiedene Entfernungen Eindringungstiefen, welche sich wie die Ladungen verhalten.

Leider sind wir durch die Erfahrung genöthigt, diesem wissenschaftlich wohl begründeten Satze gegenüber zu stellen, 1) daß er in Wirklichkeit durch Experimente sich nicht beweisen läßt, denn der Widerstand der Materie verändert sich mit der Geschwindigkeit des Geschosses und der Tiefe des Eindringens sehr schnell, insofern beispielsweise bei dem Fortschreiten in Erde nahe unter der Oberfläche die höher liegende Erdschicht leicht gelockert und gehoben wird, während bei tieferer Lage des Kanals ein solches Heben nicht erfolgt, sondern die benachbarten Erdmassen zusammengepreßt werden ohne Ausweichen der an der Oberfläche liegenden,

2) daß Erfahrung und Rechnung (Majewsky: De l'influence du mouvement de rotation dans les milieux solides.) zeigen, wie das Geschoß auch in festen Körpern, wenigstens in Erde (nach einem Versuche des Herrn General Majewsky auch in einem Papierballen) seine Rotation sammt der Pendelung fortsetzt. Man findet die in hohen Bogen geschossenen Granaten in der Erde am Ende eines fast horizontalen, etwas konkav gegen die Erdoberfläche gebogenen Kanales sehr häufig auf dem Boden stehend oder rechtwinklig zur Schußrichtung liegend.

Im Uebrigen muß der Verfasser das wiederholen, was er über diesen Gegenstand in seiner „Ballistik der gezogenen Geschütze" gesagt hat, nämlich, daß bis jetzt die Gesetze über das Eindringen der Geschosse in feste Materialien in ihrer Gesammtwirkung noch nicht erkannt sind.

Der oben aufgestellte Satz bildet eins von den vielen Gesetzen

und bildet wenigſtens die Grundlage für den Vergleich des erſten Angriffes durch Geſchoſſe mit verſchiedenen Geſchwindigkeiten. Es kommt beim Eindringen in die Erde je nach der Anſchlagrichtung (in Folge der Axſchwankungen und der Pendelung) vor, daß größere Geſchwindigkeiten nur wenig bedeutendere Tiefen ergeben.

141. Wir haben geſehen, daß durch die Einfallwinkel die lebendige Kraft nicht geändert werden kann; darum hat eine Granate, welche unter höchſt möglichen Elevationen geworfen wird, keineswegs einen längeren Eindringungskanal zur Folge als eine andere, welche bei gleicher Ladung dieſelbe Entfernung durch eine kleinere Elevation erreicht. Es hängt allein von der Richtung ab, unter welcher eine Zieloberfläche getroffen wird, um zu entſcheiden, in welchem Falle dieſelbe Kraft am wirkſamſten ausgenutzt iſt. Nehmen wir die größten Gegenſätze, eine horizontale Gewölbedecke und eine vertikale Mauer, und bedenken, daß zwiſchen beiden tauſend Uebergänge ſtattfinden, ſo möchte bei Gewölben, welche eine Dodanirung haben, nicht immer die höchſte Elevation vorzuziehen ſein. Es dürfte ſich aber daraus ergeben, daß man beim Angriffe von Feſtungen gegen gemauerte Reduits die größte Wirkung von ſolchen Batterien zu erwarten hat, welche aus langen und kurzen 24 Ctern (resp. 24 Cter Mörſern) kombinirt ſind.

Denken wir bei dem Bewerfen von Gewölbedecken, welche in Zukunft ſehr häufig durch Eiſenbahnſchienen werden verſtärkt ſein, bei denen es alſo nicht immer auf ein direktes Durchdringen ankommen wird, an die Gewalt des Stoßes, ſo müſſen wir der Perkuſſionskraft einige Worte widmen. Wir haben ſie definirt als Produkt aus Maſſe und Geſchwindigkeit. Wegen des ſelten ſenkrechten Einſchlages werden die Wirkungen bei verſchiedenen Ladungen für den Vergleich ſich ausdrücken durch die Formel $P v \sin \alpha$. Der Einfluß der Fallrichtung iſt alſo hier wie bei der lebendigen Kraft. Aber bei gleichen Einfallwinkeln verhalten ſich die Perkuſſionskräfte wie die Maſſen und wie die Quadratwurzeln aus den Ladungen. Es ergiebt ſich hieraus, daß der Mörſer wird von möglichſt großem Kaliber ſein müſſen, und daß die gezogenen Geſchoſſe ihrer cylindriſchen Geſtalt wegen den Rundgeſchoſſen gleichen Kalibers bedeutend überlegen ſein werden.

Am wichtigſten unterſcheidet ſich indeſſen die Wirkung unſerer gezogenen Granaten von der der Rundgeſchoſſe durch ihr Zerſpringen beim Aufſchlage.*) Mag auch die Frage noch nicht entſchieden ſein, ob die Sprengung in einem feſten Ziele vor Beendigung der

*) Man ſehe den Anhang dieſes Abſchnittes.

natürlichen Eindringung oder nach derſelben geſchehe, jedenfalls haben wir ſehr einfache Mittel, die Sprengung durch Verlangſamung der Zündung zu vergrößern,*) um ſo mit der Eindringungsfähigkeit die größt mögliche Sprengwirkung zu verbinden. Als Nebenzugabe, welche indeſſen beim Beſchießen von Mauern nicht weniger wichtig iſt, erhalten wir die fortwährende Reinigung der Breſche von Staub und Schutt, welche durch die Pulvergaſe weggeblaſen werden. Von welcher Bedeutung dieſer Umſtand iſt, zeigte 1857 ein Verſuch in Schweidnitz, bei welchem es wegen des ſich häufenden Schuttes, der die ſchon durchbrochenen Stellen einer Mauer nicht erkennen ließ, nur kaum gelang, mittelſt gezogener 24Ker Vollgeſchoſſe den Einſturz herbeizuführen.

142. In umgekehrter Weiſe geſtaltet ſich die Frage beim Beſchießen von Panzern. Es hat ſich nämlich gezeigt, daß die geladenen Granaten krepiren, wenn ſie auch keine Zündvorrichtung haben. Iſt die Entzündung der Ladung eine Folge des Zerſchellens der Granate, da auch Vollgeſchoſſe zerſchellen? Oder iſt das Krepiren der Granate eine Folge der Pulverentzündung? Findet das Zerſchellen von Geſchoſſen ſtatt, ſo läßt ſich die Frage nicht entſcheiden. Dies iſt nun der für die Praxis wichtigſte Punkt. Wir haben Geſchoſſe von größter Härte, verſehen mit einer koniſchen Spitze, zerſchellen ſehen; dagegen durchſchlugen Granaten von geringerer Härte und ſcheinbar ungünſtigerer Form den $4\frac{1}{2}$ zölligen Panzer, ohne deformirt zu ſein. Dies giebt einen Beweis dafür, daß es ſich durch ein nur auf den Augenſchein geſtütztes Urtheil nicht entſcheiden läßt, welche Form die günſtigere iſt, und daß die Elaſticität des Materials wichtiger iſt, als die größte Härte. Das iſt indeſſen ein ſo allgemeiner Satz, daß wir uns vorläufig auf das Vorgetragene beſcheiden müſſen.

Wir haben geſehen, daß die Kraft des Geſchoſſes vorzüglich durch ſeine Geſchwindigkeit bedingt iſt. Hierdurch erklärt ſich das Verfahren der Engländer, ihre Panzerverſuche auf den Gebrauch ſchwerer Vorderlader mit ſphäriſchen Geſchoſſen auszudehnen. Thatſächlich erhalten die Kugeln außerordentlich viel größere Geſchwindigkeiten als unſere Geſchoſſe. Eine gewiſſe Ueberlegenheit äußert ſich aber nur auf ganz kleinen Entfernungen, da ſie hier genügende Trefffähigkeit und durch den Widerſtand der Luft noch nicht viel gelitten haben. Die für das Eindringen ungünſtigere Form und

*) Indem man durch einen langſam brennenden Zünder dem zündenden Feuerſtrahle das unmittelbare Durchſchlagen zur Sprengladung verwehrt.

die nothwendig geringere Masse der Kugeln läßt den Unterschied bald zu Gunsten der Langgeschosse ausschlagen. Uebrigens würde diese größere Geschwindigkeit bis zu einem gewissen Grade auch aus Hinterladern sich erreichen lassen, wenn wir unsere Geschütze zu ihren größten Leistungen zwingen wollten und dürften.

143. Widmen wir der Frage noch ein Paar Worte: Welches Geschoß, Granate oder Vollgeschoß, giebt bei gleicher Ladung, die größere Kraft, vorausgesetzt, daß beide nicht zerschellen? Die lebendigen Kräfte sind $^1/_2\ M\ v^2$ und $^1/_2\ M_1\ v_1{}^2$, wo M und v sich auf die Granate, M_1 und v_1 auf das Vollgeschoß beziehen mögen. Nun wissen wir, daß die Geschwindigkeiten umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den Geschoßgewichten, also ihre Quadrate umgekehrt wie die Geschoßgewichte selbst sich verhalten, d. h. $v^2 : v_1{}^2 = M_1 : M$; folglich ist $M\,v^2 = M_1\,v_1{}^2$. Sehen wir also ab von dem geringen Unterschiede, welchen der Luftwiderstand herbeiführt, so folgt, daß es ganz gleichgültig ist für die Größe der lebendigen Kraft, ob wir eine Granate oder ein Vollgeschoß schießen, und in der That haben die nicht zerschellenden Granaten den Eisenpanzer so gut durchschlagen wie die Vollgeschosse. Danach ist es also nicht möglich den Effekt eines Geschützes in Bezug auf seine Durchschlagungskraft durch Vergrößerung des Geschoßmasse zu steigern — es bleibt dafür nur ein Mittel, nämlich die Vergrößerung der Ladungen. Anders ist es jedoch bei der Perkussionskraft, welche sich darstellt als M v. Gehen wir wieder von der Gleichung $v^2 : v_1{}^2 = M_1 : M$ aus, so leitet sich daraus ab $v : v_1 = \sqrt{M} : \sqrt{M}$ also $v\sqrt{M} = v_1\sqrt{M_1}$. Um die Perkussionskräfte zu erhalten, müssen wir noch multipliziren mit $\sqrt{M}$ und $\sqrt{M_1}$, also für das schwerere Geschoß mit einer größeren Zahl. Das würde nun heißen: Vollgeschosse geben größere Stoßkraft als Granaten. Da man beim Bewerfen von Gewölbedecken aber wohl ungern die Sprengwirkung entbehren wird, so ist es gerechtfertigt, wenn man den geringen Vortheil, welchen Vollgeschosse gewähren, vernachlässigt.

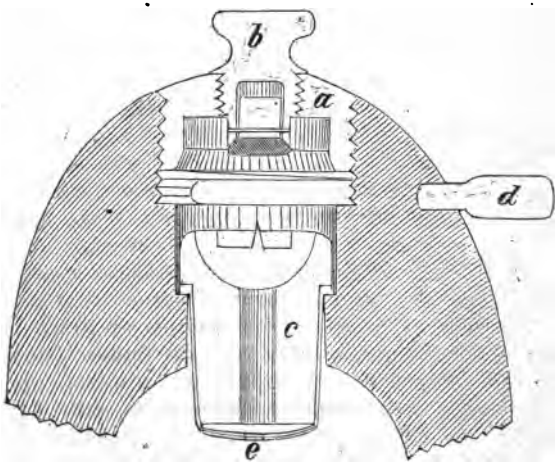
Wir müssen uns hier eine allgemeine Bemerkung über artilleristische Berechnungen erlauben: Abweichungen der Praxis von den errechneten Resultaten werden häufig den zu Grunde gelegten Gesetzen zur Last gelegt. Das ist nicht immer zutreffend; es ist nur noch nicht gelungen, alle Gesetze der Rechnung zu unterwerfen. Hat der Techniker die nöthige Stärke eines Gebäudetheiles berechnet, dann multiplizirt er mit Sicherheits- und Gefühlscoeffizienten, und rechnet das folgende Mal doch nach seinen bisherigen Formeln, ähnlich oft der Physiker; dem Artilleristen ist das so selten erlaubt wie dem Astronomen.

Anhang: Es folge hier eine kurze Beschreibung der verschiedenen Zündvorrichtungen zum Sprengen der Langgeschosse der Hauptartillerien.

Wir haben wesentlich zwei Arten von Zündern zu unterscheiden: a) solche, welche das Geschoß im Momente des Aufschlagens auf den Erdboden oder auf das Ziel zum Sprengen bringen (Perkussionszünder) und b) solche, welche das Geschoß in irgend einem vorher bestimmten Punkte der Flugbahn in der Luft krepiren lassen. Die ersteren verwendet man bei Granaten, die letzteren (Zeitzünder) bei Shrapnels. Man sollte meinen, daß jede der beiden Arten bei den Mächten gleich wäre. Das ist aber nicht der Fall und zwar nicht zufällig, sondern bedingt durch die beiden Geschützgattungen: Hinterlader und Vorderlader, insofern die ersteren ohne Spielraum, die letzteren mit einem solchen schießen und das Vorhandensein eines solchen dem Feuer der Geschützladung gestattet, das ganze Geschoß zu umschlagen, also durch etwaige Oeffnungen in das Innere desselben zu bringen und es im Rohre zum Sprengen zu bringen, oder andererseits einen frei zu Tage liegenden Zünder der Absicht gemäß in Brand zu stecken.

a. Der preußische Perkussionszünder (Fig. 81) besteht aus

Fig. 81.



einem im Mundloche der Granaten in einer Kapsel (e), welche die Sprengladung abschließt, nach vorn frei beweglichen schweren Bolzen (c) (etwa 1 Zoll hoch und $^5/_8$ Zoll stark) mit einer Zündnadel

versehen, und ihm gegenüber einer das Mundloch schließenden Schraube (a), durch welche wieder eine kleinere Schraube (b) geht, die nach innen gerichtet, mit einem Zündhütchen voll Knallquecksilber versehen ist. Man überlegt nun so: Der Nadelbolzen macht die Bewegung des Geschosses mit, trifft letzteres nun irgend ein Hinderniß (selbst ein Heubündel) so wird seine Geschwindigkeit um irgend etwas (wenn auch sehr wenig) vermindert, also auch die des mit ihr fest verbundenen Zündhütchens; der frei bewegliche Nadelbolzen setzt die frühere Bewegung aber ungehindert fort, überholt also das Zündhütchen und trifft es mit seiner Nadel, entzündet es auf die Weise, und das entstehende Feuer theilt sich der Sprengladung mit. Zu dem letzteren Zwecke ist sowohl der Bolzen hohl, als auch die Bolzenkapsel im Boden durchbrochen, ihrer ersten Bestimmung wegen aber durch ein feines Gewebe wieder geschlossen. Es ist offenbar gefährlich, eine so geladene Granate zu handhaben; man muß deshalb vor dem Schusse den Bolzen hindern, an das Zündhütchen zu gelangen. — Das geschieht durch ein seitlich von außen zwischen beide Körper gestecktes Stäbchen (d) (Vorstecker), welches während des Fluges der Granate aber wieder entfernt sein muß. Dieses Entfernen wird durch die Rotation besorgt, indem die in ihrem Gefolge erregte Schwungkraft den Vorstecker hinausschleudert.

2) Der englische Perkussionszünder folgt im Wesentlichen denselben Grundsätzen, hat aber keinen Vorstecker, sondern sein Nadelbolzen wird durch einen gehärteten Stahlstift gehalten, welcher durch den Stoß der Geschützladung abbricht und den Bolzen freiläßt.

3) Der französische Perkussionszünder, welcher beim Beschießen fester Ziele verwendet wird, muß mit der Spitze treffen, wodurch ein im Innern befindlicher Stift auf ein Zündhütchen gestoßen wird. Er ist namentlich für die Marine bestimmt, also nur beschränkt verwendbar.

4) Der französische Granatzünder (Feldgeschütze) ist wie unsere alten Bombenzünder, er erhält sein Feuer durch die Geschützladung und bringt die Granate zum Sprengen, wenn die für eine bestimmte Entfernung (mittlere oder große) gegebene Zünderſatzsäule verbrannt ist. In Vorderladern machen die Geschosse heftige Anschläge (Battements), und die Gefahr des Springens im Rohre macht die Perkussionszündung nicht verwendbar.

5) Die italienische Artillerie suchte diesem letzteren Uebelstande zu begegnen durch die Anwendung des preußischen Vorsteckers. Die Gefahr wurde nicht gehoben, weil das Geschützfeuer durch das Vorsteckerloch zum Zündhütchen drang. Man sah sich genöthigt, den einfachen (auf drei Entfernungen tempirbaren) Holzzünder einzuführen.

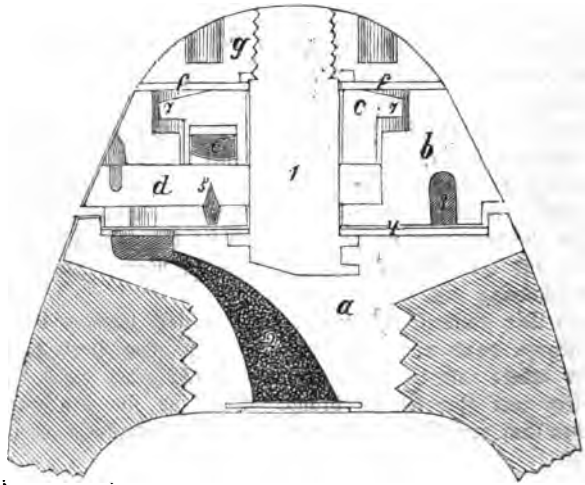
6) Der österreichische Perkussionszünder empfängt sein Feuer auch schon im Geschütze, sprengt aber die Granate erst beim Aufschlage. Die Mündung der die Sprengladung enthaltenden Höhlung wird durch eine Halbkugel geschlossen, an welcher sich nach vorn ein mit Flechten von Schießwolle umwickelter Stiel befindet. Die Schießwolle reicht mit drei Enden aus der Granate heraus. Diese nehmen das Feuer auf, die Schießwolle brennt während des Fluges, und beim Aufschlage fliegt nach dem Prinzipe unsers Nadelbolzens die Halbkugel vorwärts, öffnet also die Höhlung und gestattet dem Feuer Zutritt zur Sprengladung. Erstickt das Feuer der Schießwolle wegen etwaiger Behinderung des Rauchabzuges, oder dringt beim Aufschlage in den Zünder schneller Sand ein, als die Halbkugel sich vorbewegt, so ist eine Sprengung nicht möglich.

7) Der belgische Perkussionszünder ist dem preußischen gleich (auch das Geschütz).

8) Der russische Perkussionszünder ist der preußische (wie das ganze Geschützsystem); statt des Vorsteckers hat er zwischen Nadelbolzen und Zündhütchen eine leicht zusammendrückbare messingene Spiralfeder.

b. Der preußische Zeitzünder, nach dem in der Blüthezeit seines Geistes verstorbenen Erfinder der Richter'sche genannt, basirt in Bezug auf seine Tempirung auf der Erfindung des belgischen General Bormann, ist aber in Bezug auf seine geniale Verwendung für die gezogenen Geschütze unbestrittenes Eigenthum des preußischen Hauptmanns Richter.

Fig. 82.



Der eigentliche Zünder (Fig. 82) ist eine im Kreise liegende gepreßte Satzsäule (3), welche mit ihrer Umhüllung auf einer Scheibe (4) um die Axe (1) drehbar ist; die Scheibe (Zünderteller) ist an einer Stelle durchlocht, um in einem gewissen Momente das Feuer des Zünders zur Sprengladung gelangen zu lassen. Der Metallkörper, welcher die Satzsäule enthält, ist äußerlich durch numerirte Striche eingetheilt, welche durch die Sekundenzahl bezeichnet sind, die das Feuer vom Nullpunkte an gebraucht, um zu dem Striche zu gelangen. Wird z. B. der Strich $6^3/_8$ über das Loch im Zünderteller gestellt, so wird in dem Moment das Geschoß (Shrapnel) gesprengt, wo es eine Flugzeit von $6^3/_8$ Sekunden verbraucht hat. Der Zünder wird in Folge des Stoßes der Geschützladung in Brand gesetzt, indem das Prinzip des Nadelbolzens umgekehrt ist. Der Bolzen (c), welcher mit seinen zerbrechlichen Ansätzen (7, 7) aufliegt, enthält hier die Zündpille (6); er will noch liegen bleiben, wenn das Geschoß und mit ihr eine im Innern befindliche, festgehaltene Nadel (5) sich in Bewegung setzt, in Folge dessen brechen die Ansätze ab und die Nadel wird also in die Pille hineingeschossen. d ist eine Art Vorstecker, g eine Schraubenmutter, f eine Reibungsscheibe, a ist die Schraube des Zünders und enthält den Kanal (2).

2) Während bei uns die Nadel hinter der Pille sich befindet, ist sie bei dem englischen Zünder vor derselben.

3) Der französische Zeitzünder hat vier Satzsäulen von verschiedener Länge, von denen eine nach Bedarf abgeplattet, also dem Feuer der Geschützladung zugänglich gemacht wird.

4) Der österreichische Zünder enthält auch den Bormann'schen Satzring und wird durch die Geschützladung entzündet, indem Schießwoll-Enden das Feuer aufnehmen.

Bei dieser Gelegenheit wollen wir einige Zahlen über die Kosten der Artillerie hinzufügen:

Ein	4	Ager	Granatschuß	kostet	bei	uns	ungefähr	1 Thlr.	10 Sgr.
=	6	Ager	=	=	=	=	=	1 =	20 =
=	12	Ager	=	=	=	=	=	2 =	20 =
=	24	Ager	=	=	=	=	=	4 =	20 =
=	6	Ages	Gußstahlrohr	=	=	=	=	1000 =	— =
=	72	Ages	=	=	=	=	=	10000 =	— =

= $10^1/_2$zölliger Armstrong kostet . . . . . 9000 Dollars

Krupp's 15zölliges Gußstahlrohr kostet in Amerika 29400 Dollars und wiegt 33600 ℔. Blakely 12zölliges Gußstahlrohr kostet in Amerika 40000 Dollars und wiegt 40000 ℔. Parrot 10zölliges Gußeisenrohr kostet in Amerika 4500 Dollars und wiegt 26500 ℔. Rodman 15zölliges Gußeisenrohr von 49100 ℔ kostet 6500 Dollars.

kleineren Raum zu bringen, durch einen echten Bruch ſich ausdrücken laſſen z. B. $^1/_2$, wenn gewöhnlich die Hälfte der Schüſſe auf einen ſolchen Raum traf. Dürfen wir nur auf einen Theil der Schüſſe als Treffer rechnen, welcher kleiner iſt als $^1/_2$, ſo iſt das Treffen eigentlich unwahrſcheinlich, da man unter wahrſcheinlich ſpeciell den Fall verſteht, in welchem es *eben ſo leicht* zu erwarten iſt, das beſtimmte Ziel zu treffen, als es zu verfehlen. Wir werden alſo umgekehrt uns denken können, daß es eine gewiſſe Ausdehnung giebt, welche wir für die Größe des Zieles verlangen müſſen, *um das Treffen eben ſo leicht, als das Vorbeiſchießen* erwarten zu dürfen. Dieſe Zielausdehnungen ſind von der Entfernung und von der Ladung unabhängig und ſind nach unſeren Erfahrungen in den *Trefffähigkeitstabellen* aufgeführt, ſo daß wir beiſpielsweiſe für den 6Zer bei 1,2 ℔ Ladung auf 2000 Schritt eine Zielhöhe von 4,9 Fuß verlangen müſſen, um auf die Hälfte oder 50 Procent unſerer Schüſſe als Treffer rechnen zu dürfen. Dies iſt Sache der Erfahrung und Beobachtung; wir ſprechen aber nicht allein von dieſer Wahrſcheinlichkeit für 50 Procent, ſondern wir dehnen den Begriff aus auf jeden Procentſatz und haben uns ſomit zu erklären, in welchem Zuſammenhange alle Grade der Wahrſcheinlichkeit zwiſchen 0 und 1 ſtehen, z. B. wenn wir nach dem vorigen Beiſpiele auf 50 Procent bei einer Zielhöhe von 4,9 Fuß zu rechnen haben, ſo wird die Procentzahl offenbar kleiner werden, wenn dieſe Zielhöhe nicht vorhanden iſt, umgekehrt wird ſie wachſen, wenn das Ziel höher iſt.

Unſere Ziele ſind gegebene, d. h. es iſt wichtiger zu erfahren, auf wie viel Procent dürfen wir hoffen, als wie groß muß das Ziel ſein, um gewiſſe Procentſätze zu erhalten. Dieſer Zuſammenhang iſt Sache der Wiſſenſchaft, und wir wollen verſuchen, in weiten Umriſſen ein Bild derſelben zu geben und dann ihre Reſultate durch die wirklichen Erſcheinungen prüfen.

145. Wir ſetzen voraus, daß der Leſer die Bedeutung der Begriffe: Längen- und Breitenſtreuung, mittlere Schußweite, parallele Seitenabweichung, mittlerer Treffpunkt, mittlere Längen-, Höhen- und Seitenabweichung kenne, und wollen an einem Beiſpiele nur ihre Herleitung wiederholen, welche übrigens für vertikale und horizontale Bilder in ſo weit gleich iſt, als es bei horizontalen ſich um die Beſtimmung des mittleren Treffpunktes in der Schußrichtung, bei vertikalen auf ſeine Lage nach der Höhe handelt:

Im Jahre 1859 wurde mit alten (Perkuſſions-) Shrapnels folgendes Treffbild erhalten:

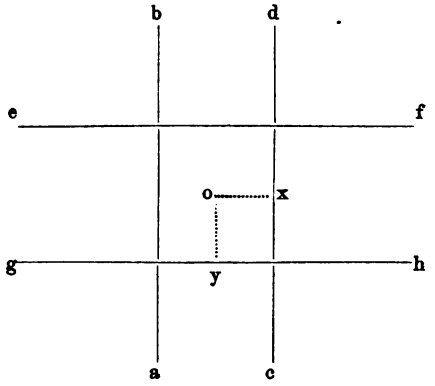
No. des Schusses	Weite des ersten Aufschlages Schritt	Von der Visirebene rechts Schritt
1	2642	7
2	2607	6
3	**2677**	4
4	2629	4
5	2624	4
6	2628	4,5
7	2587	5
8	2625	8
9	**2544**	**1**
10	2635	5
11	2634	9
12	2615	6
13	2573	5
14	2569	6
15	2580	6
16	2637	3
17	2622	3
18	2664	7,5
19	2627	1
20	2622	**11**
Summa	52,341	106

Die mittlere Schußweite ist $\frac{52341}{20} = 2617{,}05$ Schritt, die parallele Seitenabweichung rechts ist $\frac{106}{20} = 5{,}3$ Schritt. Diese beiden Größen werden benutzt als Grundlage für Elevation und Seitenverschiebung in der Schußtafel.

Die Längenstreuung ist 2677 — 2544 = 133 Schritt,
» Breitenstreuung » 11 — 1 = 10 Schritt;
diese beiden Größen bezeichnen ein Rechteck, in welches alle Schüsse als Treffer gefallen sind.

Für uns ist diese Frage aber wichtiger: wie groß ist nach Länge und Breite der Raum symmetrisch um den mittleren Treffpunkt gedacht, in welchem die Hälfte der Schüsse nach jeder Richtung einzeln betrachtet gefallen sind? Wir müssen vorläufig die Richtungen einzeln betrachten, denn denken wir uns Figur 83 in Bezug auf die seitliche Ausbreitung zwischen den Linien a b und c d, wenn o der mittlere Treffpunkt sein möge, 10 Schüsse liegen, so können dieselben 10 Schüsse nicht gleichzeitig zwischen e f

Fig. 83.



und g h sich befinden; der durch alle 4 Linien bezeichnete Raum wird vielmehr nur irgend einen Theil der Hälfte aller Schüsse enthalten. Den Raum a b c d bestimmen wir durch das Aufsuchen der mittleren Seitenabweichung, den Raum e f g h durch das der mittleren Längen- (Höhen-) Abweichung. Die mittlere Seitenabweichung wird dargestellt durch die Linie o x und ist das arithmetische Mittel aus den seitlichen Entfernungen aller Schüsse vom mittleren Treffpunkte; die mittlere Längen- (Höhen-) Abweichung ist die Linie o g und wird gefunden als das Mittel sämmtlicher Entfernungen in der Längen- (Höhen-) Richtung aller Schüsse von demselben Punkte. Um diese Größen zu finden, addirt man alle einzelnen Abweichungen vom mittleren Treffpunkte (unbekümmert, ob rechts oder links u. s. w.) und dividirt die Summe durch die Anzahl aller Schüsse: Dies giebt für unser Beispiel:

	Abweichung in Bezug auf die	
No. des	mittlere Schußweite	parallele Seiten-
Schusses	= 2617,05 Schritt	weichung = 5,30 Schritt
1	24,95	1,7
2	10,05	0,7
3	59,95	1,3
4	11,95	1,3
5	6,95	1,3
6	10,95	0,8
7	30,05	0,3
8	7,95	2,7
9	73,05	4,3

No. des Schusses	Abweichung in Bezug auf die mittlere Schußweite = 2617,05 Schritt	parallele Seitenweichung = 5,30 Schritt
10	17,95	0,3
11	16,95	3,7
12	2,05	0,7
13	44,05	0,3
14	48,05	0,7
15	37,05	0,7
16	19,35	2,3
17	4,95	2,3
18	46,95	2,2
19	9,95	4,3
20	4,95	5,7
Summa	488,70	37,6
Arithmetisches Mittel	24,435 als mittlere Längenabweichung	1,88 als mittlere Seitenabweichung

146. Da die Summe der Abweichungen vom mittleren Treffpunkte nach vorwärts und rückwärts oder nach rechts oder links gleich ist, so genügt für die obige Berechnung auch die halbe Schußzahl und zwar nach folgender Regel:

Man addire nach der Schießliste alle Schußweiten (S), welche größer sind als die mittlere (s), multiplicire die Anzahl (a) derselben mit der mittleren Schußweite, ziehe dies Produkt (a s) ab von jener Summe und dividire den Rest (S — a s) durch die halbe Anzahl aller Schüsse $\left(\frac{m}{2}\right)$ und man erhält die mittlere Längenabweichung durch die Formel $\left(S - a\ s\ \frac{2}{m}\right)$. Ebenso verfährt man für die mittlere Seitenabweichung. Die mittlere Längenabweichung bezeichnet nun durch die Zahlen 2617,05 + 24,44 = 2641,5 und 2617,05 — 24,44 = 2592,6 den Raum, in welchem 10 Schüsse liegen müssen.

Wir finden nun zwischen 2592,6 und 2641,5 die Schüsse No. 2, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 12, 16, 17, 19, 20; die Anzahl ist nicht 10 sondern 12, wovon der Grund darin liegt, daß die Schüsse 10, 11 und 16 sehr nahe an der Grenze liegen. Ebenso finden wir seitlich 12 Schüsse in den Grenzen 5,3 + 1,9 = 7,2 und 5,3 — 1,9 = 3,4, weil Nr. 1, 2, 12, 14, 15 sehr nahe an der Grenze liegen.

Zeigen nun wiederholte Versuche, daß immer nahe dieselben

Grenzen sich ergeben, so ist leicht erklärlich, daß wir vor dem Schießen annehmen dürfen, wir werden, so bald die Elevation richtig ermittelt ist, dasselbe Ziel mit 50 Procent Treffern belegen.

147. Die Erfahrung zeigt nun auch, daß die Gruppirung der Schüsse einer gewissen Gesetzmäßigkeit unterliegt, und die Wahrscheinlichkeitsrechnung bezeichnet diese Gesetzmäßigkeit. Wir werden jetzt einige Sätze der Wahrscheinlichkeitsrechnung aufführen und in Bezug auf die Verwerthung derselben für die Artillerie einer Anschauung folgen, welche wir dem Herrn Generalmajor Otto verdanken.*) (Die Wahrscheinlichkeitsrechnung selbst ist zu Anfang des 17. Jahrhunderts von Pascal und Fermat erfunden, in der neueren Zeit am meisten ausgebildet durch Legendre und Gauß, Erfinder der Methode der kleinsten Quadrate, und auf die Artillerie zuerst angewendet nach Andeutung von Poisson.) Es ist übrigens selbstverständlich, daß wir für den vorliegenden Zweck den Vortrag nicht in strengster Wissenschaftlichkeit ausführen wollen, und wir hoffen, daß uns deshalb nicht ein Vorwurf treffe.

Wenn irgend ein Ereigniß unter gewissen Umständen eben so oft eintrat als dies nicht geschah, so ist die Wahrscheinlichkeit, daß es unter denselben Umständen wieder eintreten werde, gleich $1/2$, d. h. es kann *eben so leicht* eintreten als nicht. Sehen wir z. B., daß der 6Ger auf 2000 Schritt für 50 Procent Treffer eine Zielhöhe von 4,9 Fuß verlangt, so heißt das, er werde ein solches Ziel *eben so leicht* treffen als verfehlen. Das scheint keiner besonderen Auseinandersetzung zu bedürfen. Sagen wir aber, er werde ein Ziel von 2 Fuß Höhe eben so leicht treffen als nicht, so ist das nicht war; wir werden vielmehr sehen, daß die Wahrscheinlichkeit des Treffens nur etwa $1/4$ sein kann, oder mit anderen Worten, von 100 Schuß werden voraussichtlich 25 das Ziel treffen, 75 es aber verfehlen. Der Begriff *eben so leicht* ist also ein bestimmter, und er dient als Maßstab für die Beurtheilung der Wahrscheinlichkeit, während der mathematische Ausdruck für jede andere Wahrscheinlichkeit dargestellt wird durch den Satz: „*Das Verhältniß der Zahl der günstigen Fälle zu der aller möglichen Fälle bezeichnet den Grad der Wahrscheinlichkeit.*“ Wenn wir z. B. 100 mal des Jahres zu einer gewissen Zeit einen bestimmten Weg gehen und auf demselben 75 mal derselben Person begegnen, so ist $3/4$ die Wahrscheinlichkeit, auch

*) Dieser gelehrte Herr möge die Form verzeihen, welche wir dem Gegenstande geben. Für wissenschaftliche Untersuchungen empfehlen wir: von Schirmann: „Versuch zu einem System der Artillerie-Wissenschaft.“

das nächſte Mal ſie zu treffen. Man ſagt auch wohl, man kann in dieſem Falle 3 gegen 1 wetten. Dies nennt man die abſolute Wahrſcheinlichkeit im Gegenſatze zu der ſogenannten zuſammengeſetzten, welche ſich durch folgendes Beiſpiel ausdrücken läßt: Auf demſelben Wege begegneten wir einer anderen Perſon 60 mal, ſo daß wir mit der abſoluten Wahrſcheinlichkeit $\frac{60}{100} = \frac{3}{5}$ auf ein Wiedertreffen rechnen dürfen. Wollen wir nun die Erwartung ausſprechen, beide Perſonen zugleich zu ſehen, ſo iſt die zuſammengeſetzte Wahrſcheinlichkeit nur $\frac{3}{4} \cdot \frac{3}{5} = \frac{9}{20}$, nämlich unter 100 mal treffen wir die eine Perſon 75 mal, vorausſichtlich werden wir nur an $^3/_5$ von den 75 Tagen auch die zweite Perſon ſehen. Deshalb haben wir folgenden Satz: „Wenn die Begebenheiten unabhängig von einander ſind (wie die Seiten- gegenüber den Längenabweichungen), ſo iſt die Wahrſcheinlichkeit ihres Zuſammentreffens gleich dem Producte der einzelnen Wahrſcheinlichkeiten.“ Nehmen wir für obiges Beiſpiel an, wir ſelbſt wären erfahrungsmäßig unter 100 Malen 50 mal verhindert den Weg zu gehen, ſo würde die Wahrſcheinlichkeit, jene 2 Perſonen zu ſehen, ſich ausdrücken durch $\frac{75}{100} \cdot \frac{60}{100} \cdot \frac{50}{100} = \frac{3}{4} \cdot \frac{3}{5} \cdot \frac{1}{2} = \frac{9}{40}$ unter 40 mal 9 mal oder 31 mal nicht. Man ſieht übrigens leicht, daß es keine Begriffsverſchiedenheit iſt, ob man die Wahrſcheinlichkeit als Procentſatz oder als echten Bruch ſchreibt.

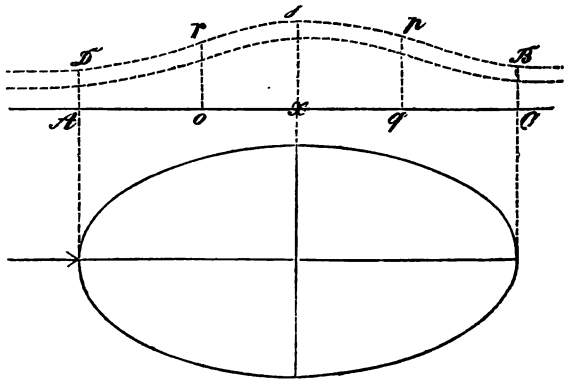
Fügen wir noch ein Beiſpiel hinzu: Wir beſchießen der Länge nach eine Chauſſee, ſo haben wir große Wahrſcheinlichkeit, eine marſchirende Kolonne zu treffen; denken wir aber, die Kolonne marſchire auf einem Wege rechtwinklig zur Chauſſee und müſſe dieſe nur durchſchneiden, ſo wird die Wahrſcheinlichkeit ſehr ſinken, grade an dieſer Stelle ſie zu treffen. Die Procentſätze der Treffer ſind keineswegs den Zielausdehnungen proportional, ſondern die Erfahrung zeigt, daß im Allgemeinen die Treffer ſich in der Nähe des mittleren Treffpunktes am dichteſten gruppiren, und da bei guter Richtung des Geſchützes der Zielpunkt eben der mittlere Treffpunkt ſein mußte, ſo iſt der Zielpunkt ſelbſt, wenn er nicht getroffen wird, offenbar der Punkt der größten Gefahr. Unzweifelhaft iſt beiſpielsweiſe der Offizier mehr als irgend ein anderer Mann in Gefahr getroffen zu werden, weil er Zielpunkt iſt, und wird er ſelbſt nicht getroffen, ſo wird die Verwüſtung in ſeiner Nähe zeigen, daß er eigentlich der mittlere Treffpunkt war. Man erkennt daraus, daß

es nicht der Wahrheit widerspricht, wenn man den mittleren Treffpunkt, obgleich er nicht getroffen ist, den Punkt der größten Gefahr nennen kann. Diese Andeutungen von Beispielen sind offenbar unerschöpflich.

b. Von dem Trefferberge, der Wahrscheinlichkeitskurve, den Wahrscheinlichkeitsfaktoren und dem wahrscheinlichen Fehler.

148. Denken wir uns, daß eine sehr große Anzahl von Schüssen nach einem Ziele gethan sei, wie es z. B. beim Anschießen der gezogenen Geschütze wirklich zur Ausführung gekommen ist, und die Geschosse wären immer bei ihrem ersten Aufschlage liegen geblieben, auch an allen Schießtagen nicht weggenommen worden, so würde ein ganzer Berg von Geschossen entstanden sein. Dieser Berg würde an einer Stelle am höchsten sein und von da nach allen Seiten verlaufen. Der Gipfel des Berges wird dem mittleren Treffpunkte entsprechen; denn er ist ja der Punkt, um welchen alle Geschosse sich lagerten und in Bezug auf den alle Geschosse eben so leicht zu weit als zu kurz, oder rechts als links gingen. Ein solcher Berg wird etwa Profil und Grundriß von Figur 84

Fig. 84.



haben. Die Anzahl der zwischen den Grenzen A D und C B liegenden Geschosse wird von dem Flächeninhalte der Figur A C B D abhängig sein. Diese Abhängigkeit wird auch stattfinden, wenn wir uns den Berg nach rechts und links so weit ausgedehnt denken, daß wir unabsichtlich gar nicht vorbeischießen können.

Der Flächeninhalt wächst natürlich, wenn die Grenzen A D und C B sich weiter ausdehnen, wie er auch wächst, wenn die Zahl der Schüsse zunimmt, wenn also die Höhe x y größer wird. Wenn wir uns jetzt nur kümmern um die Form des Profils, also vorläufig von der Zahl der Schüsse ganz absehen, so dürfen wir umgekehrt die Frage aufwerfen, wie groß muß die Ausdehnung A C sein, damit der Flächeninhalt A C B D zu irgend einem andern z. B. o r p q in einem bestimmten Verhältnisse stehe. Enthielte also der Theil des Berges o r p q die Hälfte oder 50 Procent aller Schüsse, so können wir fragen, wie groß muß A C sein, damit A C B D z. B. 75 Procent enthalte. Da wir die Ausdehnung o p für 50 Procent als das Doppelte der mittleren Längenabweichung erfahrungsmäßig kennen, so ist damit die Möglichkeit dargethan, daß wir für bestimmte Procentsätze die nöthige Zielausdehnung vorher feststellen, und umgekehrt, wenn wir das Ziel kennen, die zu erwartende Procentzahl ausdrücken können.

149. Das gezeichnete Profil des Trefferberges stimmt mit der sogenannten Wahrscheinlichkeitskurve*) der Wissenschaft überein, und diejenigen Zahlen, welche das Verhältniß der Längen A C zu der o q (wenn letztere sich auf 50 Procent bezieht) für bestimmte Procentzahlen ausdrücken, heißen Wahrscheinlichkeitsfaktoren. Diese Zahlen, welche nur mittelst der Integralrechnung zu finden sind, enthält die kleine Tabelle auf Seite 230 der allgemeinen Schußtafeln für gezogene Geschütze. Die Bedeutung dieser Zahlen ist durch das Vorige erläutert, und ihre practische Verwerthung ist zunächst diese: wäre der erforderliche Raum für 50 Procent Treffer z. B. 30 Schritt, so würde der für 60 Procent erforderliche sein 30 . 1,25 = 37,5 Schritt, der für 70 Procent 30 . 1,54 = 46,2 Schritt u. s. w.

Wäre uns umgekehrt eine Zielausdehnung von etwa 60 Schritt gegeben, so würden wir durch Division mit 30 den Faktor 2 erhalten und dann aus jener Tabelle ersehen, daß wir auf 82 bis

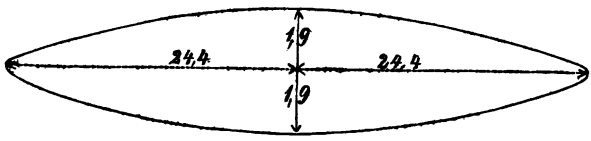
*) Diese Anschauungen haben nicht allein Gültigkeit für die Beurtheilung der Schießresultate, sie sind gleich wichtig für alle Ereignisse des Lebens. Die dann zu Grunde liegenden Erscheinungen sind die Beobachtungen der Statistik und der Erfahrungswissenschaften. Jeder Theil der Meßkunde, alle Grundlagen für Versicherungsanstalten, als Sterbe- und Lebensfähigkeitslisten, selbst Abstimmungen und Urtheile größerer Versammlungen zeigen nach gleicher Gesetzmäßigkeit gewisse Grenzen für die Richtigkeit und Glaubwürdigkeit der Resultate, und unzweifelhaft ergiebt sich überall, daß die kleineren Fehler häufiger vorkommen als die größeren, und daß die Grenzen immer sicherer inne gehalten werden, je größer die Zahl der Beobachtungen ist.

83 Procent Treffer zu rechnen haben, vorausgesetzt, daß die Elevation für die Mitte dieses Zieles richtig ist. Nähere Betrachtungen werden das noch deutlicher erklären.

Wir knüpfen nur jetzt noch die Bemerkung hieran, daß es für 100 Procent, also für die Gewißheit, keinen Faktor geben kann, aber da der für 99 Procent 3,82 ist, so kann man für die Gewißheit ungefähr 4 setzen, und dann in Uebereinstimmung für die Wirklichkeit setzen, daß „die Längenstreuungen im Allgemeinen 4 mal so groß sind als die doppelten mittleren Längenabweichungen.“ Dieser Satz deutet schon auf die Verwendbarkeit der Wahrscheinlichkeitsfaktoren für die Begründung der Korrekturen hin.

150. Dieselben Betrachtungen kann man anstellen für die seitliche Ausbreitung der Schüsse. Wenn wir uns den Trefferberg horizontal durchschnitten denken, so würden die entstehenden Figuren offenbar Kreise sein, wenn die Ausbreitung nach der Seite der nach der Länge gleich wäre. Da die Längenausbreitungen meist größer sind als jene nach der Breite, so entstehen lang gezogene Figuren, die Ellipsen, deren Flächen wir ansehen können als die Grundflächen von Cylindern, welche aus den aufgehäuften Geschossen gebildet werden. Bei einer Ellipse nennt man bekanntlich den größten Durchmesser die große Axe und den dazu senkrechten die kleine Axe. Die Hälften dieser Axen, nämlich nach rückwärts und vorwärts, nach links und rechts sind für je 50 Procent Treffer die mittleren Längen- und Seitenabweichungen. Wir können solche Ellipsen also konstruiren und uns daraus eine Vorstellung von der Form des Berges machen. So würden wir für unser Beispiel vom 6 Aer die Ellipse der Figur 85 erhalten, und daraus die Ellipse jeder

Fig. 85.



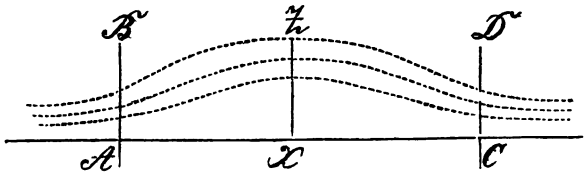
anderen Procentzahl durch Multiplication der Zahlen 1,9 und 24,4 mit dem betreffenden Wahrscheinlichkeitsfaktor ableiten können.

Unsere Ziele haben nicht die Gestalt der Ellipsen, sondern sind meist immer Rechtecke, und deshalb ist es bequem und zweckmäßig, an die Stelle der Ellipsen Rechtecke zu setzen, welche mit ihnen gleichen Flächeninhalt haben. Seien die halben Achsen einer Ellipse a und b, so wird ihr Flächeninhalt ausgedrückt durch $a\,b\,\pi$,

und dafür ſetzen wir ein Rechteck, deſſen Grundlinie a $\sqrt{\pi}$ und deſſen Höhe b $\sqrt{\pi}$ ſind. Die $\sqrt{\pi}$ oder $\sqrt{3{,}1416}$ iſt 1,77, die Seiten des Rechteckes werden alſo ſein 1,77 a und 1,77 b oder nach jeder Seite der Mittellinien 0,885 a und 0,885 b. Die Bedeutung würde alſo ſein: ſind a und b die mittlere Längen- und Seitenabweichung, wie ſie aus Verſuchen hervorgegangen ſind, ſo dürfen wir mit der Wahrſcheinlichkeit $^1/_2$ hoffen, ein Rechteck von den Seiten 2 . 0,885 a und 0,885 b zu treffen, oder wir dürfen hoffen, in ein ſolches Rechteck die Hälfte jeder beliebigen Zahl von Schüſſen als Treffer zu bringen. Erinnern wir uns, daß der Trefferberg in der Mitte am höchſten iſt oder daß die Gruppirung um den Mittelpunkt eine dichtere iſt, ſo rückſichtigt die Wiſſenſchaft darauf, indem ſie die Seiten des Rechteckes noch ein wenig verkleinert und ſtatt 0,885 die Zahl 0,845347 ſetzt. Dies iſt der in unſern Lehrbüchern ſtehende ſogenannte Wahrſcheinlichkeitsquotient für 50 Procent. Die Produkte 0,845 a und 0,845 b nennt man dann die wahrſcheinlichen Längen-, Seiten- oder Höhenabweichungen. Da wir in der Praxis ein gegebenes Ziel vor uns haben, ſo ſind auch die Angaben in den Schußtafeln gleich für die wirklichen, nicht für die halben Ausdehnungen desſelben hingeſtellt. Deshalb ſind die in unſeren Trefffähigkeitstabellen enthaltenen Zahlen die doppelten wahrſcheinlichen Abweichungen, und ſind alſo entſtanden durch Multiplikation der beobachteten mittleren Abweichungen mit der Zahl 2 . 0,845 = 1,69. Natürlich können dieſe Ermittelungen nicht abſolut richtig ſein, dann hätten wir eben nicht mehr von Wahrſcheinlichkeit, ſondern von Gewißheit zu ſprechen.

151. Im nächſten Kapitel wollen wir die Angaben der Trefffähigkeitstabellen prüfen, jetzt aber hinzufügen, daß man auch den warſcheinlichen Fehler jener wahrſcheinlichen Werthe in gewiſſe Grenzen ſchließen kann. Denken wir uns nämlich wieder in Figur 86 das Profil des Trefferberges, ſo haben wir ſchon ein-

Fig. 86.



mal darauf hingedeutet, daß mit der Zahl der Schüſſe die Höhe

x z größer oder kleiner ist. Diese Höhe der Wahrscheinlichkeitskurve nennt man das Maß der Präcision. Die Wahrscheinlichkeitsfaktoren drücken das Verhältniß der Flächeninhalte des Profils zwischen gewissen Grenzen A B und C D aus. Die Flächeninhalte ähnlicher Figuren verhalten sich nun bekanntlich wie die Quadrate homologer Linien, also umgekehrt verhalten sich diese Linien wie die Quadratwurzeln jener Flächeninhalte. Da sich die Flächeninhalte wie die Schußzahlen verhalten werden, so heißt das: die homologen Linien verhalten sich wie die Quadratwurzeln aus den Schußzahlen; in demselben Verhältnisse stehen also auch die Linien x z. Nun mißt man die Güte der errechneten durch die Linien x z als Maß der Präcision, also durch Division mit x z. Wenn man nur von Verhältnißzahlen spricht, so kommt es auf die absolute Länge von x z gar nicht an; man dividirt also statt mit x z mit der Quadratwurzel aus der Schußzahl und nennt den so erhaltenen Quotienten den wahrscheinlichen Fehler. Ist nun l die mittlere Längenabweichung, m die Schußzahl, so ist $\frac{0{,}845\ l}{\sqrt{m}}$ der wahrscheinliche Fehler, d. h. bis auf diesen Werth ist die Grenze der erforderlichen Zielhöhe als richtig anzusehen. Wäre nämlich die Schußzahl unendlich groß, so würde der Fehler vollkommen verschwinden. Da eine Quadratwurzel $\pm$ sein kann, so heißt das, der Fehler kann ins zu Große oder zu Kleine gehen, oder die errechnete Procentzahl kann ein Geringes zu klein oder zu groß sein. Sei z. B. eine mittlere Längenabweichung 20 Schritt, so ist bei 36 Schuß der wahrscheinliche Fehler: $\frac{0{,}845 . 20}{\sqrt{36}} = \frac{16{,}9}{6} = 2{,}8$ Schritt.

Diese Auseinandersetzungen beziehen sich übrigens nicht allein auf die Artillerie, sondern auf alle Arten von Beobachtungen, wo dann statt der Abweichungen die Beobachtungsfehler in Rechnung zu stellen sind.

152. Um ein Beispiel zu geben, wollen wir auf die oben aufgeführte Schießliste zurückgehen:

die mittlere Längenabweichung . . . . . war 24,435 Schritt
= = Seitenabweichung . . . . . = 1,88 =
= wahrscheinliche Längenabweichung ist 0,845 . 24,435 = 20,7
= = Seitenabweichung = 0,845 . 1,88 = 1,6.

Der Raum, welcher in der Schußrichtung die halbe Schußzahl verspricht, ist also 2 . 20,7 = 41,4 Schritt, der für die seitliche Ausbreitung ist 2 . 1,6 = 3,2 Schritt. Für 20 Schuß ergiebt sich der wahrscheinliche Fehler der wahrscheinlichen Längen-

abweichung $\frac{0{,}845 \cdot 24{,}435}{\sqrt{20}} = \frac{20{,}7}{4{,}4} = \pm 4{,}7$, d. h. wir müßten eigentlich unter den Abweichungen genau 10 haben, welche kleiner sind als 20,7. Wir finden aber 12, weil die beiden Schüsse No. 10 und 16 in das Bereich des wahrscheinlichen Fehlers fallen, No. 11 liegt auf der Grenze.

Der Wahrscheinlichkeitsfaktor für die Wahrscheinlichkeit 0,7 oder 70 Procent ist 1,54; es müssen also 20 . 0,7 = 14 bis 15 Schüsse eine kleinere Abweichung haben als 20,7 . 1,54 = 31,9 Schritt. Nach der Schießliste finden wir No. 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 16, 17, 19, 20, also 14 Schüsse. Für die seitliche Ausbreitung und 70 Procent finden wir 1,6 . 1,54 = 2,5 Schritt und die Schießliste giebt No. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, also 15 Fuß. Für 80 Procent haben wir den Faktor 1,90, also die wahrscheinlichen Abweichungen für 80 Procent oder 16 Schuß 20,7 . 1,9 = 39,3 Schritt und 1,6 . 1,9 = 3,0 Schritt. Die Schießliste giebt 15 Schuß unter 39,3 und 16 Schuß unter 3,0 Schritt.

Für 25 Procent ist der Faktor 0,47, also die wahrscheinlichen Abweichungen sind 20,7 . 0,46 = 9,7 und 1,6 . 0,47 = 0,75. Unter 9,7 Schritt liegen No. 5, 8, 12, 17 und 20, also 5 Schuß. Unter 0,75 seitlich liegen aber 7 Schuß, von denen 4 mit 0,7 Schritt, welche also innerhalb des wahrscheinlichen Fehlers sich befinden.

Wollen wir den Raum beobachten, welcher 70 Procent oder der Wahrscheinlichkeit 0,7 gleichzeitig nach der Länge und Breite entsprechen, so haben wir uns zu erinnern, daß man die zusammengesetzte Wahrscheinlichkeit erhält durch Multiplication der absoluten Wahrscheinlichkeiten, d. h. also für unseren Fall, daß wir 0,7 . 0,7 = 0,49 als Wahrscheinlichkeit erhalten oder auf 40 Procent also 10 Schuß rechnen dürfen. Wir haben nun die Schüsse zu suchen, deren Abweichungen gleichzeitig kleiner sind als 31,9 und 2,5 Schritt nach der Längen- und der Seitenrichtung. In der That finden wir:

No. des Schusses	Abweichung von der mittleren Schußweite	Abweichung von der parallelen Seitenabweichung
1	24,95	1,7
2	10,05	0,7
4	11,95	1,3
5	6,95	1,3
6	10,95	0,8

No. des Schusses	Abweichung von der mittleren Schuß-weite	parallelen Seitenabweichung
7	30,05	0,3
10	17,95	0,3
12	2,05	0,7
16	19,95	2,3
17	4,95	2,3

und zwar genau 10 Schuß.

Bei der Neuheit, diese Untersuchung in nicht streng wissenschaftlicher Form zu geben, sei uns noch eine Probe gestattet:

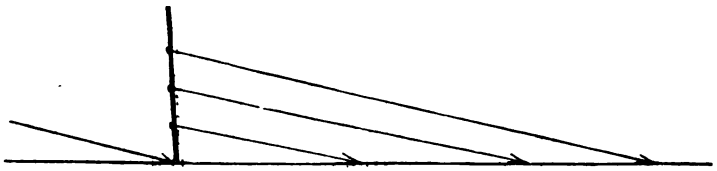
1) 80 Procent nach der Länge, 50 Procent nach der Breite geben 40 Procent, also 8 Schuß, welche in einem Rechtecke von 2 . 39,3 Schritt Länge und 2 . 1,6 Schritt Breite liegen sollen. Wir finden die Schüsse No. 2, 4, 5, 6, 7, 10, 12, 15, also 8 Schuß.
2) 50 Procent nach der Länge und 80 Procent nach der Breite, also 8 Schuß verlangen einen Raum von 2 . 20,7 Schritt Länge und 2 . 3,0 Breite. Wir finden No. 2, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 17, also 9 Schuß, von denen Nr. 16 mit 19,95 Schritt nach der Länge hart an der Grenze liegt.

c. Die Trefffähigkeitstabellen.

153. Die vorigen Betrachtungen können auch auf vertikale Scheibenbilder ausgedehnt werden.

Es ist aber am einfachsten, die für eine horizontale Ebene erhaltenen Resultate durch folgende Anschauung auf die vertikale Ebene zu übertragen. Man denke sich, wie in Figur 87, über dem am kürzesten liegenden Aufschlage eine senkrechte Scheibe, welche nach der Höhe wie nach den Seiten groß genug ist, alle Schüsse aufzunehmen. Die Scheibe wird dann ein Bild zeigen, welches eine Art Projektion des horizontalen Bildes ist. Die Projektion wird bestimmt durch die Größe der Einfallwinkel, so daß man das horizontale Bild ohne Weiteres zeichnen und berechnen kann, wenn man

Fig. 87.



den letzten Theil der Bahn als gerade anſieht. (Länge = Höhe mal Cotangente des Winkels.)

Für gleiche Schußweiten nehmen die Einfallwinkel zu mit der Verkleinerung der Ladungen, und wollten wir umgekehrt aus dem vertikalen Bilde das horizontale ermitteln, wie es auch wirklich geſchieht, da für Entfernungen unter 2000 Schritt ſtets nach Scheiben geſchoſſen wurde, ſo würden wir finden, daß die horizontalen Bilder für alle Ladungen ſo ausgeglichen werden, um für alle ein einziges ſetzen zu dürfen. Die vertikalen Bilder ändern ſich mit der Entfernung, und deshalb nehmen wir für jede Entfernung ein allen Ladungen zugehöriges Bild. Aus jedem Bilde berechnen wir die mittleren und dann die wahrſcheinlichen Abweichungen. Die letzteren werden doppelt genommen, da ſie dann den Raum bezeichnen, auf welchem 50 Procent Treffer zu erwarten ſind. So erhalten wir denn zwei Reihen von Zahlen, welche in den Trefffähigkeitstabellen niedergelegt ſind, eine Reihe, welche die doppelten wahrſcheinlichen Längenabweichungen auf allen Entfernungen für alle Ladungen gemeinſchaftlich enthält, und eine zweite, welche aus den doppelten wahrſcheinlichen Höhenabweichungen für jede einzelne Ladung zuſammengeſetzt iſt. Auch die mittleren Seitenabweichungen unterſcheiden ſich bei allen Ladungen ſo wenig, daß wir eine Mittelreihe der doppelten wahrſcheinlichen Seitenabweichung annehmen dürfen, welche für die horizontalen Bilder in Schritten, für die vertikalen in Fußen aufgeſtellt wird.

Die Trefffähigkeitstabellen bieten die Grundlage für die Korrekturen beim praktiſchen Schießen, ſie laſſen einen Ueberſchlag zu, wie groß für einen beſtimmten Zweck die Hoffnung auf Erreichung deſſelben iſt und beantworten diejenigen Fragen, welche ſich hieran knüpfen.

Ihr Werth iſt alſo nicht etwa ein nur theoretiſcher, wenn es ſich z. B. darum handelt, ob es überhaupt einen Werth habe, einen Gegenſtand unter gewiſſen Umſtänden zu beſchießen, ob ſeine Wichtigkeit dem Aufwande an Zeit und Munition das Gleichgewicht halte. Wir wollen dieſen Moment hierauf nicht eingehen, weiſen aber nebenher auf ein beſtimmtes Beiſpiel hin. Würde man aus Geſchützen auf einen einzelnen Mann ſchießen? Unzweifelhaft, wenn der einzelne Mann ein feindlicher General wäre, weil ſeine Perſon für uns größeren Werth hätte als der etwa erforderliche Aufwand an Munition und Zeit.

154. Bevor wir auf die aus den Trefffähigkeitstabellen herauszuleſenden Geſetze eingehen, wollen wir eine Prüfung derſelben an einem großartigen Beiſpiele vorausſchicken, welches der Ausdruck

unveränderter Wirklichkeit ist. Es ist bekannt, daß alle unsere Röhre auf 1200 Schritt angeschossen wurden; die erhaltenen Treffbilder von je 15 oder 10 Schuß sind in die betreffenden Schießbücher eingetragen. Wir haben etwa 300 Bilder des Gußstahl-6 Zöllers mit 1,2 ℔ Ladung geprüft und folgende Resultate erhalten: Nach der Trefffähigkeitstabelle des 6 Zöllers für 1,2 ℔ erfordern 10 Procent eine Zielhöhe von 2,1 Fuß.

1) Wir haben uns ein Rechteck von 2,1 Fuß Höhe und hinreichender Breite ausgeschnitten, an den senkrechten Seiten die horizontale Mittellinie verzeichnet und danach eingerichtet das Rechteck um den jedesmaligen mittleren Treffpunkt gelegt. Die in dem Rechtecke gefundenen Treffer sind herausgezählt, und so haben sich zunächst von 1200 Schuß in diesem Raume 579 Treffer vorgefunden. 579 geben nach der Proportion

$$1200 : 579 = 100 : x$$

$= 48\frac{1}{4}$ Procent. Hätten wir die besten Bilder aussuchen wollen, so konnten wir natürlich jede beliebige Procentzahl erhalten. Das ist aber nicht geschehen und geht aus folgenden Einzelheiten hervor;

23	mal	3	Treffer	von	10	Schuß
30	=	4	=	=	10	=
27	=	5	=	=	10	=
12	=	6	=	=	10	=
8	=	7	=	=	10	=
6	=	8	=	=	10	=
2	=	9	=	=	10	=

Die übrigen 120 Schuß waren aus je 15 zusammengesetzt und gaben 61 Treffer, also 50 Prozent.*)

Diese Zahlen sind von 19 verschiedenen Schießtagen, vom

*) Von Interesse ist jedenfalls die Frage, ob die Länge eines Rohres Einfluß habe auf die Trefffähigkeit desselben. Wenn das Geschoß einmal die verlangte Rotation angenommen hat, wozu die Länge des gezogenen Theils ganz beliebig kurz sein kann, so ist kein Grund zu denken, warum es bei gleicher Anfangsgeschwindigkeit weniger gut treffen sollte als aus einem längeren Rohre. Nach dem Vortrage über die Rotation ist aber die Geschwindigkeit von Einfluß auf die Stabilität, und da ein kürzeres Rohr geringere Geschwindigkeiten bei sonst gleichen Umständen giebt, so wird es wahrscheinlich auch unsicherer schießen als ein längeres. Die Unterschiede in der Rohrlänge müssen aber, um dies hervortreten zu lassen, sehr bedeutend sein. Uebrigens bezieht sich das nur auf die Höhenabweichungen, die für die Längen sind nicht wesentlich verschieden. Wir besaßen 2 bronzene 6 Zöller, welche in den Zügen 10 Zoll kürzer waren als der gußstählerne. Die Geschwindigkeit für 1,2 ℔ war aus diesen Röhren um etwa 25 bis 30 Fuß geringer als aus dem län-

26. Januar bis zum 8. Mai 1860, standen also unter dem Einflusse der verschiedensten Witterungsverhältnisse.

2) Das zum Zählen verwendete Rechteck war für 70 Prozent eingerichtet, indem seine Höhe 2,1 . 1,54 = 3,2 Fuß betrug. Wir fanden nun 2066 Treffer unter 3000 Schuß, also aus

$$3000 : 2066 = 100 : x$$

x = 69 Prozent, und zwar

44	mal	5	Treffer	von	10	Schuß
82	=	6	=	=	10	=
72	=	7	=	=	10	=
50	=	8	=	=	10	=
29	=	9	=	=	10	=
11	=	10	=	=	10	=

Die übrigen 120 Schuß gaben 79 Treffer oder 66 Prozent. Die Zeit des Schießens war vom Januar 1860 bis September 1861. Durchschnittlich am besten wurde von Mitte Juni bis Mitte November geschossen und zwar: vom 16. Juni bis 4. August 1860 gegen die genannte Zielhöhe von 3,2 Fuß 343 Treffer von 490 Schuß, also genau 70 Prozent, vom 9. August bis 3. November 355 Treffer von 519 Schuß, also wieder genau 70 Prozent, vom 15. November gaben 30 Schuß 30 Treffer. Die übrigen 8 Fälle, in welchen man auf 3,2 Fuß Höhe 100 Prozent erhielt, sind auf das ganze Jahr vertheilt.

3) Es wurde ein Rechteck ausgeschnitten für 70 Prozent nach der Höhe und 70 Prozent nach der Breite (4,6 Fuß) also für 49 Prozent überhaupt. Es ergaben sich 1097 Treffer von 2180 Schuß, also genau 50 Prozent:

3	mal	1	Treffer	von	10	Schuß
7	=	2	=	=	10	=
29	=	3	=	=	10	=
49	=	4	=	=	10	=

---

geren; die Trefffähigkeit, in gleicher Weise wie oben durch ein Rechteck von 2,1 Fuß Höhe gemessen, geht aus Folgendem hervor:

6	mal	2	Treffer	von	10	Schuß
4	„	3	„	„	10	„
12	„	4	„	„	10	„
15	„	5	„	„	10	„
12	„	6	„	„	10	„
2	„	7	„	„	10	„
2	„	8	„	„	10	„

Summa 249 Treffer von 530 Schuß;

das sind aus 530 : 249 = 100 : x, x = 47 Prozent.

Man erkennt, daß in diesen Grenzen das Schießen nicht gelitten hat.

43	mal	5	Treffer	von 10	Schuß
31	=	6	=	= 10	=
29	=	7	=	= 10	=
6	=	8	=	= 10	=
9	.	9	=	= 10	=

Die übrigen 120 Schuß gaben 64 Treffer, also 53 Prozent. Es möchte sich hieraus folgern lassen, daß die kleinste Schußzahl bei Versuchen 15 sein muß; das Schießen gewinnt durch die Uebung der Bedienung.

Anmerkung: Die Zahl, wie oft dasselbe Ereigniß eintrat, heißt in der Wahrscheinlichkeitsrechnung das Gewicht der Beobachtung, z. B. 49 ist hier das Gewicht für 4 Treffer von 10 Schuß (40 Prozent).

Die Treffer gegen eine Zielfläche von 3,2 Fuß Höhe und 4,6 Fuß Breite vertheilten sich in folgender Weise auf das Jahr 1860:

Januar bis März	580	Schuß	284	Treffer	49	Prozent	
April	570	=	271	=	47,3	=	
Mai bis Mitte Juni	500	=	239	=	47,8	=	
Ende Juni bis Mitte August	530	=	305	=	57,6	=	

155. Unmittelbar aus der Betrachtung der Tabellen ergaben sich folgende in den Vorbemerkungen zu den Schußtafeln aufgeführte Gesetze, welche wir wiederholen wollen:

1) „Die Höhenabweichnngen der Granaten nehmen bei gleich bleibender Ladung in mehr als proportionalem Verhältnisse mit der Schußweite zu.“ Mit der wachsenden Entfernung wachsen gleichzeitig die störenden Einflüsse der Luft — es ist also nicht überraschend, wenn man auf 2000 Schritt mehr als doppelt so unsicher schießt als auf 1000 Schritt. Bei der Gebrauchsladung und der oberen Hälfte der kleineren Ladungen ist dieses Verhältniß von 2000 : 1000 Schritt bei allen Kalibern etwa 3 : 1, d. h. in Verbindung mit den Wahrscheinlichkeitsfaktoren, daß wir bei 2000 Schritt gegen ein bestimmtes Ziel nur auf $^1/_3$ so viel Treffer rechnen dürfen als bei 1000 Schritt. Der 24 ℔er hält dieses Verhältniß auch bei den kleinen Ladungen fest; die anderen Kaliber lassen es sehr schnell sinken.

2) „Bei der festgestellten starken Gebrauchsladung sind die Höhenabweichungen am kleinsten; je kleiner die Ladung und je größer die Entfernung ist, desto mehr nehmen die Höhenabweichungen der Granaten zu.“ Es ist ausdrücklich gesagt, bei der festgestellten starken Gebrauchsladung, da erfahrungsmäßig noch stärkere Ladungen etwas schlechter schießen, obgleich keineswegs in beunruhigender Weise. Der Grund liegt möglichen Falls in den Rotationsverhältnissen. Keineswegs können wir persönlich ihn in etwaigem Ueberspringen der Felder, in einem Abstreifen des Bleimantels finden, weil die Ladungen des 24Pfünders über 4 Pfund noch immer nicht solche Geschwindigkeiten geben, wie wir sie beim 4Pfünder ohne Sorge anwenden. Es scheint uns vielmehr folgende Betrachtung beachtenswerth: In Folge der Erweiterung des Ladungsraumes hinter dem gezogenen Theil der Seele liegt die Geschoßaxe nicht in der Seelenaxe, aber auch nicht parallel darunter. Die Granate wird also von vorn herein unter einem Winkel gegen die Seelenwand geschleudert; sie muß abprallen, um einen folgenden Anschlag zu machen u. s. w. Die Anschläge werden um so energischer, je größer die anfängliche Geschwindigkeit ist, je weniger also die Bleiumhüllung Widerstand leisten kann. Dieser Uebelstand nimmt mit dem Kaliber zu, und in Rußland hat man deshalb bereits die hintere Wulste des 72Pfünders verstärkt.

3) „Die Seitenabweichungen (nicht Deviationen) der Granaten nehmen ebenfalls in größerem als proportionalem Verhältnisse mit der Schußweite zu.“

4) „Die verschiedenen in den Schußtafeln verzeichneten Ladungen eines Kalibers liefern für gleiche Entfernungen gleiche Seitenabweichungen.“

Wir haben schon gesagt, daß es nur gestattet ist, für die Seitenabweichungen eine Reihe von Mittelzahlen zu setzen, und müssen deshalb die Bemerkung hinzufügen: „Bei Erhöhungen über 10 Grad fallen bei kleinen Ladungen die Seitenabweichungen in der Regel größer aus als bei starken Ladungen auf derselben Entfernung; auch übt der Wind auf die Abweichungen der Geschosse einen um so größeren Einfluß, je kleiner die Ladung ist.

Die Sätze, daß bei verschiedenen Ladungen dieselben Längenabweichungen erhalten werden, und daß mit der Zunahme des Kalibers die Seitenabweichungen abnehmen, haben wir schon früher kennen gelernt. Daß die Höhenabweichungen nicht abnehmen, bezieht sich jedoch nur auf die starken Gebrauchsladungen, während bei den kleinen Ladungen die schwächeren Kaliber sehr entschieden im Nachtheile sind.

Anmerkung: Aus dem 24. Bde. des Archivs nehmen wir folgende Angaben für den glatten 6ℳer: Gegen eine 6 Fuß hohe, 96 Fuß breite Scheibe erhielt man auf

800	Schritt	50	pCt.,	davon	49	pCt. Preller,
900	=	45	=	=	31	= =
1000	=	42	=	=	55	= =
1100	=	37	=	=	58	= =
1200	=	32	=	=	53	= =
1300	=	25	=	=	54	= =
1400	=	21	=	=	61	= =
1500	=	16	=	=	61	= =

Das Resultat ist aus etwa 200,000 Schuß. Der gezogene 6ℳer giebt auf 1500 Schritt noch 83 direkte Treffer.

B. Gebrauch der Trefffähigkeitstabellen und Korrekturregeln.

a. Die Trefffähigkeitstabellen gegen horizontale Ziele.

156. In der durch die Schußtafeln gegebenen Ausdehnung haben die Trefffähigkeitstabellen natürlich nur insofern Interesse, als durch diese Ausdehnung ein Mittel geboten wird, für das praktische Bedürfniß einige wenige bestimmende Zahlen herauszunehmen und gleichzeitig den Zusammenhang zwischen ihnen zu erkennen. Folgendes ist ein beliebig herausgegriffenes, aber in Wirklichkeit (1865) erschossenes Treffbild des Gußstahl-6ℳers c/64 mit 1,4 ℳ Ladung auf 3800 Schritt.

Nr. des		Der erste Aufschlag lag			
Schusses:	auf Schritt:	zu weit:	zu kurz:	rechts:	links:
1	3708	—	92	—	16,4
2	3785	—	15	—	5,4
3	3794	—	6	34,6	—
4	3825	25	—	—	1,9
5	3801	1	—	4,1	—
6	3768	—	32	—	1,9
7	3776	—	34	7,6	—
8	3801	1	—	—	30,4
9	3809	9	—	—	1,4
10	3803	3	—	34,6	—
11	3900	100	—	2,6	—
12	3802	2	—	6,1	—
13	3811	11	—	0,1	—
14	3813	13	—	1,6	—

Nr. des Schusses:	auf Schritt:	Der erste Aufschlag lag zu weit:	zu kurz:	rechts:	links:
15	3875	75	—	—	1,9
16	3795	—	5	—	5,4
17	3725	—	75	3,1	—
18	3862	62	—	4,1	—
19	3777	—	23	—	31,4
20	3804	4	—	—	2,4

Nach der Trefffähigkeitstabelle des 6ßers ist die doppelte wahrscheinliche Längenabweichung auf 3800 Schritt 42,3 Schritt, die halbe also 21 Schritt, die Seitenabweichung 6,3, die halbe also 3,1 Schritt.

Anmerkung: Statt des mittleren Treffpunktes kann man mit genügender Richtigkeit den mittelsten nehmen, also hier 3801 Schritt; die seitlichen Abweichungen sind schon auf die parallele Seitenabweichung reducirt.

Innerhalb 21 Schritt vor und hinter 3801 Schritt müssen wir 50 Prozent Treffer zählen, wir finden Nr. 2, 3, 5, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 16 und 20, also 11 Schuß statt 10; oder es müssen auf 3,1 Schritt rechts und links der Linie 50 Prozent liegen — wir finden Nr. 4, 6, 9, 11, 13, 14, 15, 17, 20, also 9 Schuß. Die Richtung war, so weit es überhaupt möglich ist, durchaus unverändert, und doch haben wir eine Streuung von 192 Schritt.

Es geht daraus hervor, daß wir keinen Grund haben würden, nach einem solchen Schusse wie Nr. 1, der 100 Schritt zu kurz liegt, die Richtung zu verändern; dasselbe ist der Fall bei dem Schusse Nr. 11, welcher 100 Schritt zu weit liegt. Denn gesetzt, wir hätten nach dem ersten Schusse korrigirt um 100 Schritt und dann wie jetzt geschossen, so würde das ganze Treffbild so weit vorgerückt worden sein, daß auf 3800 Schritt nicht ein Schuß fiel, während jetzt ein Raum von ± 21 Schritt 11 Treffer erhalten hat. Aus diesem Beispiele ergiebt sich, daß wir eines Mittels bedürfen, um die Nothwendigkeit einer Korrektur prüfen zu können. Dieses Mittel bieten die Trefffähigkeitstabellen, deren Zuverlässigkeit der Leser gewiß erkannt hat, insofern es sich eben um Wahrscheinlichkeit handelt; es sei nun unsere Aufgabe, uns nach festen, in der Natur der Sache begründeten Regeln für die Ausführung der Korrekturen umzusehen.

157. Die Betrachtung der Trefffähigkeitstabellen für horizontale Ziele zeigt, daß die den einzelnen Geschützen ange-

hörigen Zahlen im praktischen Sinne gar nicht verschieden sind, z. B. auf 2000 Schritt haben wir für

	6 ℔er bronz.	12 ℔er	eisernen 12 ℔er	24 ℔er
die Längen	27,6	26,5	30,7	29,4
„ Breiten	2,5	2,1	1,9	1,7
auf 5000 Schritt für				
die Längen	50,7	47,3	55,3	53,0
„ Breiten	9,3	8,7	7,8	7,4

Wir können also sagen: *Für den praktischen Gebrauch sind die wahrscheinlichen Abweichungen oder die Treffähigkeit gegen horizontale Ziele bei unseren Geschützen gleich groß.* Da dies für alle Ladungen der Fall ist, so hat dieser Satz um so mehr Gültigkeit für Röhre derselben Art, d. h. *die Geschütze einer gezogenen Batterie schießen gleichmäßig, und wir dürfen von Geschütz zu Geschütz korrigiren.*

Aus dem obigen Satze läßt sich aber auch rechtfertigen, daß man ein abgekürztes Schema für die Treffähigkeit aufstellen darf, welches allen Kalibern genügt:

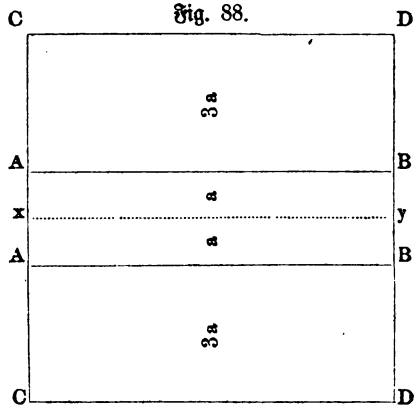
50 Prozent Treffer erfordern für das Ziel:

auf Schritt.	eine Länge von Schritt.	eine Breite von Schritt.
1000	20	1
2000	30	2
3000	40	4
4000	45	6
5000	50	8

158. Die Gesetze lassen sich hier am besten durch Beispiele auffinden. Zunächst erlauben wir uns hier für unsern Vortrag den Gebrauch eines Ausdrucks, welcher allerdings noch nicht verwendet wurde, aber für das Bedürfniß bequemer sein möchte als: doppelte wahrscheinliche Längen- und Seitenabweichung. Wir wollen unter *mittlerer Längen- oder Breitenstreuung* den Raum verstehen, in welchen nach den Lehren der Wahrscheinlichkeitsrechnung die günstigste Hälfte der Schüsse fällt. Diese mittleren Streuungen sind also die Zahlen der Treffähigkeitstabellen. Da für 99 Prozent Treffer der Wahrscheinlichkeitsfaktor etwa 4 ist, so sagen wir: *Die ganzen Streuungen sind wahrscheinlich (oder auch gewöhnlich) etwas über 4mal so groß als die mittleren Streuungen, oder: Der weiteste und der kürzeste Schuß fallen wahrscheinlich doppelt so weit von dem mittleren Treffpunkte, als die mittlere Streuung beträgt.* Wir

haben uns deshalb ein Treffbild nach folgendem Schema zerlegt zu denken: (Fig. 88) bezeichne x y die Linie der mittleren Schußweite, der Raum

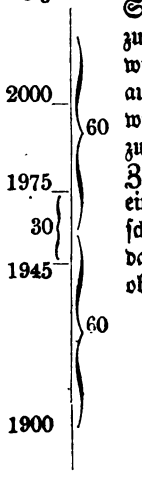
Fig. 88.



A B B A verspreche 50 Prozent Treffer, dann werden die beiden Räume A B D C wahrscheinlich die übrigen 50 Prozent enthalten, so daß jeder der Räume A B D C dreimal so groß ist als A B y x.

159. Erstes Beispiel: (Fig. 89.) Wir wollen auf 2000 Schritt schießen. Der erste Schuß falle auf etwa 1900 Schritt. Die mittlere Längenstreuung ist 30 Schritt, der kürzeste Schuß muß also gesetzmäßig etwa 2 . 30 = 60 Fuß zu kurz gehen. Wäre der Schuß von 1900 Schritt wirklich der kürzeste, so würde der mittlere Treffpunkt auf etwa 1960 Schritt fallen, die dichteste Treffergruppe würde sich bis etwa 1975 erstrecken, also entschieden zu kurz gehen. Demnach ist gar keine Aussicht, das Ziel in befriedigender Weise zu treffen, wenn auch noch einige Schüsse darüber hinaus gehen. Das zweite Geschütz korrigirt deshalb sofort mit 50 Schritt aufwärts; das dritte Geschütz verwendet dann denselben Aufsatz, ob getroffen wurde oder nicht.

Fig. 89.



1) Sind beide Schüsse wirklich um 50 Schritt weiter gegangen, so ist das ein Zeichen, daß wahrscheinlich die dichteste Treffergruppe sich um den letzten Treffpunkt lagern werde, und man wird noch einmal um 50 Schritt aufwärts gehen.

Jetzt muß aber erst eine Reihe von mehreren Schüssen über die Nothwendigkeit von Korrekturen entscheiden.

2) Ging der dritte Schuß kürzer als der zweite, so muß natürlich auch um 50 Schritt korrigirt werden.
3) Schoß das dritte Geschütz weiter und selbst über das Ziel hinweg, so sind erst mehrere Schüsse abzuwarten, welche dann das Weitere leicht ergeben.

Es ist übrigens der Grundsatz festzuhalten, daß es immer vortheilhafter ist, zuerst etwas zu kurz zu schießen, weil die Beobachtung dadurch mehr gesichert wird, und weil ja der Schuß durch seine Sprengwirkung doch zur Geltung kommt. Daraus ergiebt sich: Schießt man von vornherein zu weit, so geht man so lange mit der Richtung abwärts, bis ein Schuß vor das Ziel fällt. Voraussichtlich giebt dieser Schuß den richtigen Aufsatz oder wenigstens Aufschluß über die Nothwendigkeit einer Korrektur.

Zweites Beispiel:

160. Wir wollen auf 3000 Schritt schießen, treffen aber auf 2900 Schritt. Die mittlere Längenstreuung ist 40 Schritt; der kürzeste Schuß muß also gesetzmäßig 80 bis etwa 100 Schritt zu kurz gehen. Wäre der Schuß auf 2900 Schritt wirklich der kürzeste, so würde die dichteste Treffergruppe sich gerade um 3000 Schritt lagern. Wir müssen also den zweiten Schuß abwarten:

1) Geht dieser weiter als 2900 Schritt, so haben wir allen Grund, die Richtung festzuhalten, bis mehere Schüsse hintereinander entschieden zu kurz bleiben.
2) Geht der zweite Schuß aber kürzer als 2900 Schritt, so ist es wahrscheinlich, daß die ganze Treffergruppe nicht weit genug vorgeschoben wird — wir haben also mehr Aufsatz zu nehmen und zwar gleich für 100 Schritt, weil wir dadurch Aussicht haben, die meisten Treffer mitten in das Ziel zu legen.

Schießen wir mehr als hundert Schritt zu kurz, so wird auf jeder Entfernung mit dem zweiten Schusse geändert. In zweifelhaften Fällen ist es immer gerathen, die Richtung bis zur sicheren Entscheidung festzuhalten, weil es stets schädlich ist, zwecklos zu ändern. Bis 2000 Schritt darf man korrigiren, wenn der erste Schuß über 50 bis 60 Schritt falsch ging.

161. Aus diesen Beispielen entwickeln sich die Gründe für die betreffende Anleitung in den Vorbemerkungen zu den Schußtafeln: „Wenn der Fehler größer ist als die bezügliche Abmessung für 50

Procent Treffer (mittlere Streuung), so ist eine Korrektur rathsam; ist er mehr als 4 mal so groß, so ist die Korrektur durchaus nothwendig. Ist der Fehler aber eben so groß oder kleiner als diese Abmessung, so ist man nur dann zu einer Korrektur berechtigt, wenn bei mehreren, unter denselben Umständen abgegebenen Schüssen ein Fehler nach derselben Seite hin sich ergiebt." Für die Größe der Korrekturen folgern wir: Unter 2000 Schritt darf man gegen horizontale Ziele nicht mit weniger als 50 Schritt, über 2000 Schritt nicht mit weniger als 100 Schritt ändern. Diese Regeln gelten auch für die Seitenrichtung, wenn die besondere Berücksichtigung derselben überhaupt nöthig ist, wie es gegen frei stehende Truppen im Allgemeinen wohl nicht der Fall ist.

162. Was wir eben besprochen haben ist das theoretische Schießen, welches immer zu befolgen sein wird, wenn die Verhältnisse eines Kampfes uns Zeit genug lassen, jeden Schuß gut zu beobachten und von einem Schusse zum andern zu überlegen, wie es im Festungs- und Küstenkriege wohl stets zu erwarten ist. Das ist aber im Feldkriege, in welchem doch vorzugsweise das Schießen gegen horizontale Ziele (d. h. solche von großen horizontalen Ausdehnungen) zur Verwerthung kommt, höchst selten der Fall. Vielmehr wird hier die Benutzung der Waffe vorzüglich von dem schnellen Blicke des Kanoniers oder des Unteroffiziers abhängen, und es fragt sich deshalb, was ist aus dem Obigen für die Praxis zu lernen?

Zunächst dürfte sich ergeben, daß, wenn man unter Schnellfeuer ein solches versteht, wie es etwa bei Schießübungen mit Kartätschen ausgeführt wird, man sich davon nie Bedeutendes versprechen darf. Wird dennoch im Ernste schnell gefeuert, so kann das nur der Ausfluß einer präcisen, besonders gewandten Bedienung sein — ein nicht gezielter Schuß verlangt nicht die Ausbildung der Artillerie, wie alle Kriegsmächte sie zu erreichen streben. Trotz der hohen Stellung der Geschützkunst trifft nicht jeder Schuß, wie die vorigen Kapitel gezeigt haben, aber es ist unsere Aufgabe, das Geschütz zu den möglichst hohen Leistungen zu zwingen. Das geschieht allein durch sachgemäße, schnell entschlossene Korrekturen. Die Geschütze streuen durch sich selbst schon genug; wir sollen uns hüten, die Streuungen zu vergrößern. Darin liegt ausgesprochen, daß man nur dann korrigiren darf, wenn die Nothwendigkeit klar erkannt ist, und dann nur so, daß man Aussicht hat, das gegebene Ziel durch die neue Richtung wirklich zu erreichen.

163. Es hat sich vorhin ergeben, daß bei den gewöhnlichen Feldkrieg-Entfernungen, also etwa bis 2000 Schritt, diejenigen Fehler, welche kleiner sind als 30 Schritt (mittlere Streuung) gar nicht zur Korrektur auffordern, daß dies vielmehr erst unbedingt nothwendig ist, wenn der Fehler ungefähr 4mal so groß, also etwa 100 Schritt ist.

Für mittlere Entfernungen (etwa 2000) können wir sagen, wir wollen korrigiren, wenn der Fehler mehr als 50 bis 60 Schritt beträgt. Die Gründe dafür haben wir ja gegeben; welches ist die Folge? Der Zweck einer Korrektur ist, diesen Fehler von 50 bis 60 Schritt oder darüber zu vermeiden. Diesen Zweck können wir natürlich nur erreichen, wenn wir die Elevation genügend vergrößern oder verkleinern. Nun entspricht bei der langen Visirlinie (Kolben-6 ℔er) einer Veränderung der Schußweite um 50 Schritt durchschnittlich eine solche des Aufsatzes um $^1/_8$ Zoll, dagegen bei der kurzen Linie (Keil-6 ℔er und 4 ℔er) um $^1/_{16}$ Zoll. Wir folgern also aus den Trefffähigkeitstabellen, daß der Kolben-6 ℔er für den Feldkrieg die kleinste Korrektur gleich $^1/_8$ Zoll, der Keil-6 ℔er und 4 ℔er gleich $^1/_{16}$ Zoll verlangen. Bedürfen wir nicht feinerer Korrekturen, so brauchen wir für den Kampf auch nicht so fein berechnete Schußtafeln — denn nach dem Obigen sind Aufsatzveränderungen von $^1/_2$ Sechzehntel ohne praktischen Einfluß. Die Feldschußtafeln können somit abgekürzt werden und wir dürfen uns folgende Gedächtnißtafeln für den Kampf unserer Feldgeschütze bilden:

1) 6 ℔er mit Kolbenverschluß.

Entfernung Schritt	Aufsatz Zoll	$^1/_8$ Zoll ändert die Schußweite um Schritt	Korrektur nach Schuß
400	1		
700	2	50	1
1000	3		
1400	4		
1700	5	40	2
2000	6		

Kleinste Korrektur $^1/_8$ Zoll

2) 4Ker und 6Ker mit Keilverschluß.*)

Entfernung	Aufsatz	1/16 Zoll ändert die Schußweite um	Korrektur nach
Schritt	Zoll	Schritt	Schuß
500	1/2		
900	1	50	1
1300	1 1/2		
1600	2		
1900	2 1/2	40	2
2200	3		

Kleinste Korrektur 1/16 Zoll.

Es wird korrigirt
bei zu weit
bei mehr als 50 Schritt zu kurz.

In Bezug auf die Verbesserung der Seitenrichtung ist nur immer zu bedenken, daß beim Rechtsvorbeischießen mehr Seitenverschiebung zu nehmen ist.

Für alle Entfernungen, welche zwischen den in diesen Tabellen enthaltenen liegen, ist sehr einfach der Aufsatz bestimmt und beim praktischen Schießen ist diese Bestimmung zu üben. Weiß der Artillerist die Tafel seines Geschützes auswendig, so wird er mit ihrer Hülfe im Stande sein, ohne weitläufiges Nachdenken sich nach jedem Ziele schnell einzuschießen.

Es ist natürlich das Schießen auf einen lebenden Feind zu unterscheiden von dem nach der Scheibe — nicht der Bedienung des Geschützes, sondern der Beurtheilung der Wirkung wegen. Gegen die Scheibe sind nur die direkt durchschlagenden Schüsse Treffer; gegen den lebenden Feind ist jeder Schuß, der alle Sprengstücke in das Ziel bringt, ein solcher. Die Korrekturen werden dadurch noch weniger peinlich, um so mehr aber ist es nöthig und möglich, dem Kanonier die geistige Fähigkeit für die Ausnutzung seiner Waffe zu geben, und diese besteht darin, daß er wisse, wie seine Thätigkeit einzugreifen hat in den Gang der Schlachten und daß der größte Fehler des Artilleristen im Kampfe gegen andere Waffen in der Peinlichkeit und Aengstlichkeit der Bedienung liegt. Die Bedingungen sind hier: Erreichbarkeit jeder Schußweite, Leichtigkeit der Ausführung und hinreichende Größe der Korrekturen und ein sicheres Funktioniren der Zündvorrichtungen.

164. Die letztere Bedingung erfordert eine ganz besondere

*) Schießt der Keil-6Ker mit 1,2 Z, so würde die Entfernungssalkades Kolben-6Kers neben die Aufsatzskala in halben Zollen treten.

Rücksicht, namentlich im Artilleriekampfe. Wird die Granate rechtzeitig gesprengt, wie wir das von den unsrigen nach allen Erfahrungen voraussetzen dürfen, so ist noch nicht nothwendig, auf eine bedeutende Wirkung gegen die mit Intervallen aufgestellten Geschütze und Mannschaften, zu rechnen. Es treten nämlich zwei störende Fälle ein, entweder trifft das Geschoß auf solchen Erdboden, in welchen es in Folge der Beschaffenheit desselben oder des Richtungswinkels und seiner Geschwindigkeit tief eindringt, und die Sprengladung ist dann nicht im Stande, die Eisenstücke umherzuschleudern,*) oder das Geschoß trifft unmittelbar neben das Ziel und die Sprengladung reicht nicht hin, sofort die Sprengstücke auszubreiten. In beiden Fällen ist die Wirkung für den unmittelbar beabsichtigten Zweck nur gering. Wenn die Granate in der Erde krepirt, so kann überhaupt nur günstigsten Falls die oben liegende Hälfte der Sprengstücke in die Luft kommen; da aber der Kopf meist nicht gespalten wird, so ist es nur eine sehr kleine Menge von Eisen, welche den Feind beschädigen kann. Daraus geht hervor, daß beim direkten Schuß eine möglichst flache Bahn nicht blos von Wichtigkeit ist für die Größe des bestrichenen Raumes, sondern auch für die Sicherheit, mit welcher die Sprengstücke wieder gehoben und vorwärts getrieben werden.**) Wir müssen also möglichst große Geschwindigkeiten zu erreichen suchen und dafür ist in der Ausrüstung gesorgt. Die großen Geschwindigkeiten werden die Granaten auch noch nach dem Aufschlage, also nach dem Zerspringen haben und auf ihre getrennten Theile übertragen. Jedem Stückchen wohnen nun zwei Kräfte inne: die fortschreitende Geschwindigkeit und die durch die Sprengladung erhaltene seitliche, und es muß einer Mittelkraft folgen, welche um so mehr sich der Vorwärtsrichtung nähert, je größer die Geschoßgeschwindigkeit der seitlichen gegenüber ist. Treffen wir nun auf die Mitte des Intervalles zweier Geschütze, so ist leicht erklärlich, daß die seitwärts stehenden Mannschaften die Granate nicht viel mehr als sonst eine Vollkugel zu fürchten haben. Dies ist durch die Erfahrung bestätigt. Es dürfte sich daraus ergeben, daß in vielen Fällen die Wirkung der Artillerie sich vorzugsweise gegen Infanterie und Kavallerie zu richten hat und zwar, wenn das Terrain

*) Die Sachsen, welche unsere Hinterlader führen, beschossen aus einer Flankenstellung einige unserer Batterien mit außerordenlicher Genauigkeit. Zum Glück war der Boden so aufgeweicht, daß die Granaten tief eindrangen und die Sprengstücke fast senkrecht hoch getrieben wurden.

**) Daraus ist abzuleiten, daß nach regnigtem Wetter sehr große Entfernungen mit großen Einfallwinkeln geringe Wirkung versprechen.

irgend gestattet, aus so großen Entfernungen, daß man jegliches feindliches Feuer nur in geringem Grade zu fürchten hat.

Sind wir aber zum Artilleriekampfe gezwungen, so sind wir aufgefordert, die höchste Geschicklichkeit zu entwickeln, deren die Bedienung fähig ist, und weil wir immer so wenig dicht gedrängt stehen, dürfen wir alles übereilte Feuern, also das in diesem Falle durchaus nutzlose Schnellfeuer vermeiden. Die feindlichen Geschütze müssen, wenn sie frei stehen, direkt getroffen werden. Wir betrachten zu dem Zwecke

b) die Trefffähigkeitstabellen gegen vertikale Ziele.

165. Wenn wir dieses Kapitel auch an den Gebrauch der Artillerie im Feldkriege anknüpfen, so ist sein Inhalt doch ein allgemeinerer, ein solcher, welcher sich auf jede Geschützgattung bezieht. Die vollständige Ausnutzung dieser Tabellen würde eine besondere Studie bilden können, und deshalb ist es nicht möglich, daß der praktische Artillerist sie jeden Moment müßte verwerthen können; aber aus ihnen lassen sich auch einige Sätze herausnehmen, welche die Basis für die Leitung der Korrekturen bilden und für ein rationelles Schießen nothwendig sind.

Um uns zunächst nach der Richtung, welche dem Schießen nach horizontalen und dem nach vertikalen Zielen gemeinschaftlich ist, eine Vorstellung von der Trefffähigkeit unserer Geschütze zu machen, beginnen wir mit der Seitenstreuung und stellen als abgekürztes Schema für alle Geschütze und alle Ladungen folgendes auf:

50 Procent Treffer erfordern eine Zielbreite:

auf 1000 Schritt von 2 Fuß
= 1500 = = 4 =
= 2000 = = 6 =

Man erkennt daraus, daß wir noch auf bedeutenden Entfernungen nur wenig breite Ziele noch als solche ansehen dürfen, welche wir mit großer Wahrscheinlichkeit treffen können.

166. Wir vervollständigen diese Vorstellung durch die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsfaktoren, welche wir weiter oben erklärt haben, und setzen für das Gedächtniß folgende Abkürzungen:

sei der Faktor für 50 Procent gleich 1 , dann
ist = = = 25 = = $\frac{1}{2}$
= = = 60 = = $1\frac{1}{4}$
= = = 70 = = $1\frac{1}{2}$
= = = 99 = = 4

und es ergiebt sich folgende Tabelle:

Erforderliche Zielbreite

für Procent	auf 1000 Schritt	auf 1500 Schritt	auf 2000 Schritt
25	1 Fuß	2 Fuß	3 Fuß
40	$1\frac{1}{2}$ =	3 =	$4\frac{1}{2}$ =
50	2 =	4 =	6 =
60	$2\frac{1}{2}$ =	5 =	$7\frac{1}{2}$ =
70	3 =	6 =	9 =
90	8 =	16 =	24*) =

Wir wollen hier gleich bemerken: Dieses Schema gilt auch für die Trefffähigkeit nach der Höhe bei den starken Gebrauchsladungen aller nnserer Röhre. Somit haben wir eine Basis für die Begründung der Korrekturen beim Schießen nach vertikalen Zielen; dazu fügen wir ein Schema, welches die Mittel zu den Korrekturen bietet und schon einmal (Nr. 75) aufgeführt ist:

$\frac{1}{16}$ Zoll Aufsatz verlegt den Treffpunkt nach der Höhe oder Seite

beim 24 ℔er	$\frac{4}{3}$	mal	so	viel	Fuß
= eisernen 12 ℔er	$\frac{10}{7}$	=	=	=	=
= bronzenen 12 ℔er	2	=	=	=	=
= eisernen 6 ℔er	2	=	=	=	=
= Gußstahl-6 ℔er mit Kolbenverschluß	2	=	=	=	=
= = = Keilverschluß .	4	=	=	=	=
= 4 ℔er.	4	=	=	=	=

als die Entfernung tausende Schritt beträgt.

Also beim	auf 1000 Schritt	auf 1500 Schritt	auf 2000 Schritt
24 ℔er	$1\frac{1}{3}$ Fuß	2 Fuß	$2\frac{2}{3}$ Fuß
eisernen 12 ℔er. . .	$1\frac{1}{2}$ =	2 =	3 =
bronzenen 12 ℔er . .	2 =	3 =	4 =
eisernen 6 ℔er . . .	2 =	3 =	4 =
6 ℔er mit Kolbenverschluß.	2 =	3 =	4 =
6 ℔er mit Keilverschluß	4 =	6 =	8 =
4 ℔er.	4 =	6 =	8 =

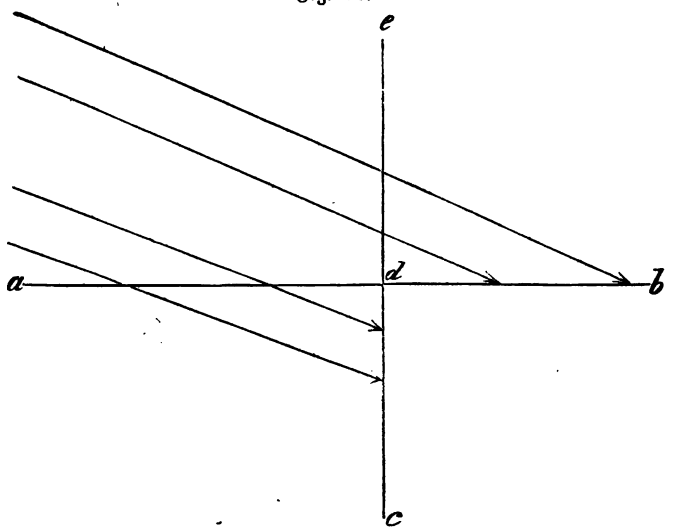
167. Hierauf seien die jetzigen Betrachtungen gestützt, wobei wir vorweg wieder setzen:

Geht gleich der erste Schuß nach einer senkrechten Scheibe zu

*) Die untere Zahlenreihe zeigt die erforderlichen Zielausdehnungen, um durch gehörige Korrekturen unbedingt mit jedem Schusse zu treffen.

weit, so hat man ohne Weiteres mit dem Aufsatze abwärts zu gehen. Wir schießen also jetzt zu kurz. Bei dem „Heranschießen" haben wir zunächst offenbar wie gegen horizontale Ziele zu verfahren; jedoch ist hieran eine speciellere Betrachtung zu knüpfen. Wir denken uns eine, sowohl unter dem Horizonte als über demselben hinreichend große Scheibe, welche, wenn die Flugbahn bis auf ihre Entfernung reichte, unbedingt getroffen werden müßte, wie in Figur 90, wo a b den Horizont und c d e die Scheibe bezeichnen.

Fig. 90.



Den letzten kurzen Theil der Flugbahn wollen wir als annähernd geradlinig betrachten. Die senkrechte Entfernung des Treffpunktes in der Scheibe von dem Fußpunkte derselben ist dann bestimmt durch die horizontale Entfernung des Aufschlages auf dem Erdboden von der Scheibe und durch den Einfallwinkel.

Für die Gebrauchsladungen sind die Einfallwinkel bei allen Kalibern ziemlich gleich, so daß sie sich durch folgende Mittelzahlen ausdrücken lassen:

1000 Schritt $2\,^{8}/_{16}$ Grad,
1500 = $4\,^{4}/_{16}$ =
2000 = 6 =

Dann ergiebt die Winkeltabelle folgendes Schema:

Erforderliche Zielbreite

für Procent	auf 1000 Schritt	auf 1500 Schritt	auf 2000 Schritt
25	1 Fuß	2 Fuß	3 Fuß
40	$1\frac{1}{2}$ =	3 =	$4\frac{1}{2}$ =
50	2 =	4 =	6 =
60	$2\frac{1}{2}$ =	5 =	$7\frac{1}{2}$ =
70	3 =	6 =	9 =
90	8 =	16 =	24*) =

Wir wollen hier gleich bemerken: Dieses Schema gilt auch für die Trefffähigkeit nach der Höhe bei den starken Gebrauchsladungen aller unserer Röhre. Somit haben wir eine Basis für die Begründung der Korrekturen beim Schießen nach vertikalen Zielen; dazu fügen wir ein Schema, welches die Mittel zu den Korrekturen bietet und schon einmal (Nr. 75) aufgeführt ist:

$\frac{1}{16}$ Zoll Aufsatz verlegt den Treffpunkt nach der Höhe oder Seite

beim 24 ℔er	$\frac{4}{3}$	mal	so	viel	Fuß
= eisernen 12 ℔er	$\frac{10}{7}$	=	=	=	=
= bronzenen 12 ℔er	2	=	=	=	=
= eisernen 6 ℔er	2	=	=	=	=
= Gußstahl-6 ℔er mit Kolbenverschluß	2	=	=	=	=
= = = Keilverschluß .	4	=	=	=	=
= 4 ℔er.	4	=	=	=	=

als die Entfernung tausende Schritt beträgt.

Also beim	auf 1000 Schritt	auf 1500 Schritt	auf 2000 Schritt
24 ℔er	$1\frac{1}{3}$ Fuß	2 Fuß	$2\frac{2}{3}$ Fuß
eisernen 12 ℔er. . .	$1\frac{1}{2}$ =	2 =	3 =
bronzenen 12 ℔er . .	2 =	3 =	4 =
eisernen 6 ℔er . . .	2 =	3 =	4 =
6 ℔er mit Kolbenverschluß.	2 =	3 =	4 =
6 ℔er mit Keilverschluß	4 =	6 =	8 =
4 ℔er.	4 =	6 =	8 =

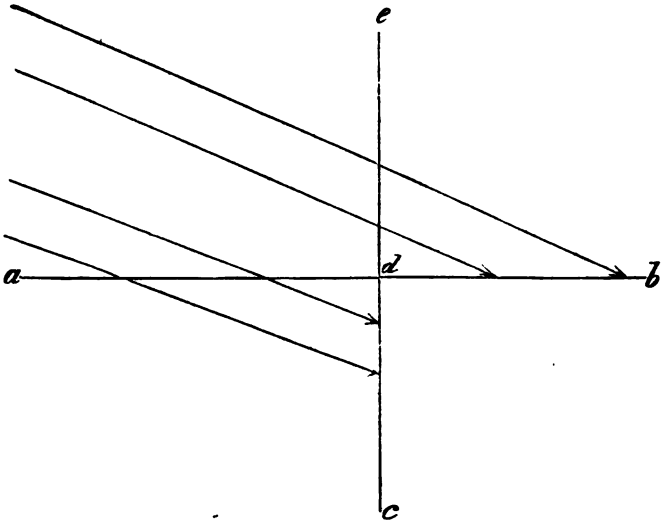
167. Hierauf seien die jetzigen Betrachtungen gestützt, wobei wir vorweg wieder setzen:

Geht gleich der erste Schuß nach einer senkrechten Scheibe zu

*) Die untere Zahlenreihe zeigt die erforderlichen Zielausdehnungen, um durch gehörige Korrekturen unbedingt mit jedem Schusse zu treffen.

weit, ſo hat man ohne Weiteres mit dem Aufſatze abwärts zu gehen. Wir ſchießen alſo jetzt zu kurz. Bei dem „Heranſchießen" haben wir zunächſt offenbar wie gegen horizontale Ziele zu verfahren; jedoch iſt hieran eine ſpeciellere Betrachtung zu knüpfen. Wir denken uns eine, ſowohl unter dem Horizonte als über demſelben hinreichend große Scheibe, welche, wenn die Flugbahn bis auf ihre Entfernung reichte, unbedingt getroffen werden müßte, wie in Figur 90, wo a b den Horizont und c d e die Scheibe bezeichnen.

Fig. 90.



Den letzten kurzen Theil der Flugbahn wollen wir als annähernd geradlinig betrachten. Die ſenkrechte Entfernung des Treffpunktes in der Scheibe von dem Fußpunkte derſelben iſt dann beſtimmt durch die horizontale Entfernung des Aufſchlages auf dem Erdboden von der Scheibe und durch den Einfallwinkel.

Für die Gebrauchsladungen ſind die Einfallwinkel bei allen Kalibern ziemlich gleich, ſo daß ſie ſich durch folgende Mittelzahlen ausdrücken laſſen:

1000 Schritt $2^{8}/_{16}$ Grad,
1500 = $4^{4}/_{16}$ =
2000 = 6 =

Dann ergiebt die Winkeltabelle folgendes Schema:

Entfernung des Aufschlages von der Scheibe	Entfernung des Treffpunktes in der Scheibe von ihrem Fußpunkte auf 1000 Schritt	auf 1200 Schritt	auf 2000 Schritt
25	2½ Fuß	4½ Fuß	6½ Fuß
50	5 =	9 =	12½ =
75	8 =	13½ =	19 =
100	10½ =	18 =	25 =
150	16 =	27 =	38 =
200	21 =	35½ =	50½ =

Aus der Veränderung durch $^1/_{16}$ Zoll Aufsatz ersehen wir, daß, wenn der Aufschlag zufällig der mittlere Treffpunkt mehrerer mit unveränderter Richtung abgegebener Schüsse sein würde, man mit Ausnahme der beiden Feldgeschütze mit kurzer Visirlinie nach folgendem Schema verfahren müßte, um die zu kurz gegangenen Schüsse an den Fuß der Scheibe zu bringen:

Zu kurz gegangen um Schritt	Durchschnittlicher Zusatz am Aufsatz für das Vorrücken der Treffer an den Fuß der Scheibe auf 1000 Schritt	auf 1500 Schritt	auf 2000 Schritt
25	1½ Sechzehntel	1½ Sechzehntel	1½ Sechzehntel
50	2½ =	3 =	3½ =
75	4 =	4½ =	5 =
100	5½ =	6 =	6½ =
150	8 =	9 =	9½ =
200	10½ =	12 =	12½ =

Die kurze Visirlinie würde diese Zahlen halbiren, während der 24Ⓒer und der eiserne 12Ⓒer sie vergrößern müßten. Da wir ja nicht direkt den Fuß der Scheibe treffen wollen, so dürfen wir bei Entfernungen von 1000 bis 2000 Schritt die Korrekturen für gleiche Abstände von der Scheibe als gleich ansehen.

168. Sind wir jetzt an den Fuß der Scheibe gekommen, so sei ihre Höhe beschränkt auf 6 Fuß. Wir haben das weitere Verhalten zu prüfen, und erinnern uns deshalb, daß die Hälfte der Höhenstreuung von der Mitte ausgerechnet wahrscheinlich doppelt so groß ist als die mittlere Höhenstreuung oder als die für 50 Procent erforderliche Zielhöhe.

Wäre unser Treffpunkt am Fuße der Scheibe wirklich der tiefste, so würde nach dem in Nr. 166 gegebenen Schema der mittlere Treffpunkt bei

	1000 Schritt	1500 Schritt	2000 Schritt
auf	4 Fuß	8 Fuß	12 Fuß

fallen. Es würden also bei 1500 und 2000 Schritt mehr als die Hälfte aller Schüsse über die Scheibe hinweggehen.

Gesetzt nun, unser Treffpunkt am Fuße der Scheibe läge genau an der Grenze der Zielhöhe für 50 Prozent, dann würde der mittlere Treffpunkt über dem Erdboden liegen

auf 1000 Schritt, 1500 Schritt, 2000 Schritt,
um: 1 Fuß, 2 Fuß 3 Fuß.

Die Höhe von 2 bis 3 Fuß ist die beste, welche wir erreichen können. Daraus ergiebt sich folgende Regel: Treffen wir den Fuß einer 6 F. hohen Scheibe, so dürfen wir bei langen Visirlinien auf 1000 Schritt durchschnittlich $^1/_{16}$ Zoll Aufsatz, bei kurzen Visirlinien $^7/_2$, oder gar nicht zusetzen, auf 1500 und 2000 Schritt aber nicht korrigiren. Im Ernstgebrauch würde man also sagen dürfen: Trifft man den Fuß eines mannshohen Zieles, so wird nicht korrigirt. Wir haben dann also nur mit „zu kurz" oder „zu weit" uns zu beschäftigen, wobei unser Streben immer ist, in einer Höhe von 2 bis 3 Fuß zu treffen. Man muß sich ja hüten, das Schießen der Revisionskommissionen zu verwechseln mit dem der Brigaden, denn Erstere schießen gegen 12 oder 16 Fuß, letztere gegen 6 Fuß hohe Scheiben. Da man bei 12 Fuß über dem in der Mitte liegenden Zielpunkt noch 6 Fuß hat, so ist ein Treffer in den Zielpunkt eigentlich nicht höher als ein solcher an dem Fuß der Scheibe bei 6 Fuß Höhe. Wir setzen deshalb die Regel: Geht gegen eine 6 Fuß hohe Scheibe der erste Schuß an den oberen Rand der Scheibe, so ist der Aufsatz sofort um $^1/_{16}$ Zoll (resp. $^1/_2$ Sechzehntel) zu vermindern.

169. Auf folgende Weise würde sich nun die einfachste Korrekturregel ergeben. Bei Scheiben-Entfernungen über etwa 1300 Schritt ist ein Treffer am Fuße der Scheibe ein günstiger Schuß, bei kleineren Entfernungen dürfen wir den Treffpunkt absichtlich höher legen. Wenn nun auf großen Entfernungen $^1/_{16}$ Zoll Aufsatz auf die Schußweite natürlich weniger Einfluß übt als auf kleinen Entfernungen, so dürfen wir dies durch den vorigen Satz als ausgeglichen ansehen, und eine Mittelzahl des Einflusses von $^1/_{16}$ Zoll für alle Scheiben Entfernungen annehmen. So finden wir $^1/_{16}$ Zoll Aufsatz ändert die Schußweite durchschnittlich

beim	24Ter	12	Schritt	für 4℔	Ladung
= eis.	12Ter	12	=	= 2,1℔	=
= bronz.	12Ter	14	=	= 2,1℔	=
= Kolben	6Ter	17	=	= 1,2℔	=
= eiserne	6Ter	17	=	= 1,2℔	=

Setzen wir im Mittel für alle Röhre 15 Schritt, so erhalten wir die Korrekturregeln:

Schießt man aus Röhren mit langer Visirlinie gegen 6 Fuß hohe Ziele um irgend eine Schrittzahl zu kurz oder zu weit, so dividire man mit 15 in diese Schrittzahl — dann giebt der Quotient die nöthige Korrektur in sechzehntel Zoll Aufsatz. Also:

25	Schritt geben	$^{25}/_{15}$ =	$1\,^{10}/_{15}$	also 2	Sechzehntel
50	= =	$^{50}/_{15}$ =	$3\,^{5}/_{15}$	= 3	=
75	= =	$^{75}/_{15}$ =	5	= 5	=
100	= =	$^{100}/_{15}$ =	$6\,^{10}/_{15}$	= 7	=
150	= =	$^{150}/_{15}$ =	10	= 10	=
200	= =	$^{200}/_{15}$ =	$13\,^{5}/_{15}$	= 13	=

Bei kurzen Visirlinien muß man mit 30 dividiren.

Wenn wir hier von Korrekturen bei so kleinen Fehlern als etwa 25 Schritt sprechen, so liegt der Grund darin, daß wir ja nicht eigentlich den Fuß der Scheibe, sondern irgend einen höher liegenden Punkt derselben treffen wollen. Korrekturen, welche die einzelnen Sechzehntel noch halbiren, mag Jeder anwenden, welcher sich Erfolg davon verspricht. Es ist vielleicht dem Kanonier gegenüber von großer moralischer Wirkung, wenn man auf großen Entfernungen so kleine Veränderungen kommandirt, aber von physischem Einflusse ist es dem Trefffähigkeitsmaße gegenüber nicht.

Bei den gewöhnlichen Bresche-Entfernungen ist die Trefffähigkeit unserer Geschütze so groß, daß man bis etwa 600 Schritt direkt den Punkt bestimmen kann, welchen man treffen will. Etwaige Korrekturen führt man also aus, indem man entweder höher oder tiefer, mehr links oder rechts richtet, oder den Aufsatz nach Maßgabe der zu erreichenden Verlegung des Treffpunktes mittelst der entsprechenden Rubrik der Schußtafel verändert.

170. Setzen wir noch den Fall, man schieße gegen eine sehr fern liegende feindliche Schanze scheinbar fortwährend in die Brustwehr; wie hat man sich zu verhalten? Die Entfernung sei 3000 resp. 4000 Schritt, die mittlere Längenstreuung ist dann 40 bis 45 Schritt und die totale 100 bis 200 Schritt. Denken wir uns wieder die unbegrenzte Scheibe, um diese Zahlen auf die Vertikalebene zu übertragen. Der Einfallwinkel auf 3000 Schritt ist beim 24Pfder $9\,^{15}/_{16}$ oder 10 Grad, auf 4000 Schritt $14\,^{1}/_{2}$ Grad. Die Winkeltabelle giebt für 40 resp. 45 Schritt und diese beiden Winkel eine Höhe von 17 Fuß für 3000 Schritt und von 28 Fuß für 4000 Schritt. Ferner ist die Verlegung des Treffpunktes durch $^{1}/_{16}$ Zoll Aufsatz für 3000 Schritt 4 Fuß, für 4000 Schritt

5½ Fuß. Man sieht also, daß diese Veränderungen innerhalb 17 und 28 Fuß ganz beliebig angewendet werden können ohne sichtbaren Erfolg. Es geht übrigens hieraus auch hervor, daß es bei nicht bedeutender Höhe der Schanze nur optische Täuschung ist, wenn es scheint, als habe man fortwährend in die Brustwehr geschossen. Alle nicht viel zu kurz gehenden Schüsse wird man eben für Treffer halten, und geht nun wirklich jeder Schuß zu kurz, so muß man ja die ganze Treffergruppe vorwärts oder aufwärts legen um mindestens die halbe Längenstreuung, also um 80 bis 100 Schritt. Es ergiebt sich also die Regel: Auf ganz großen Entfernungen darf man nur von Korrekturen um mindestens 100 Schritt einen günstigen Erfolg erwarten. Der mittlere Treffpunkt soll im Ziele liegen. Ist also das Ziel ein unmittelbar hinter der Brustwehr stehendes Geschütz, so hat man auf die günstigste Wirkung zu rechnen, wenn etwa die Hälfte der Schüsse in die Brustwehr trifft, die andere Hälfte aber scheinbar zu weit geht. Dieser direkte Schuß ist zu unterscheiden von dem Beschießen gedeckt liegender, nicht sichtbarer Reduits.

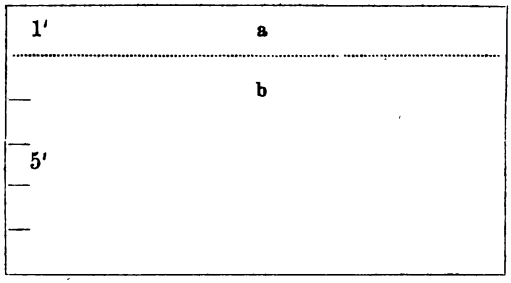
171. Außer zu der Begründung der Korrekturen in der eben gezeigten Weise lassen sich die Trefffähigkeitstabellen auch verwenden, zu ermitteln, auf welche Wirkung oder auf wie viel Prozent Treffer man gegen ein Ziel von gegebener Ausdehnung überhaupt hoffen dürfe. Denken wir uns dazu eine Kolonnenscheibe von 6 Fuß Höhe, gegen welche wir Breitenstreuung unbeachtet lassen dürfen.

1) Wie viel Prozent Treffer verspricht der 6ℳer gegen diese Scheibe auf 1000 Schritt, wenn wir verschiedene Lagen des mittleren Treffpunktes annehmen?

α. Der mittlere Treffpunkt liege auf 3 Fuß Höhe. 50 Prozent verlangen eine Höhe von 1,6 Fuß, also 0,8 Fuß nach oben und nach unten. Dividiren wir mit 1,6 Fuß in 6 Fuß, so wird der Wahrscheinlichkeitsfaktor $\frac{6}{1,6} = 3,75$, also beinahe 4, d. h. wir dürfen erwarten, daß kein Schuß das Ziel verfehle. Dies ist gewiß der günstigste Fall, aber die Lage des mittleren Treffpunktes erfahren wir erst, wenn das Schießen vorbei ist.

β. Der mittlere Treffpunkt liege auf 5 Fuß Höhe. Jetzt müssen wir uns, wie in Figur 91, die Scheibe durch einen Horizontalstrich getheilt denken in einen unteren Streifen von 5 Fuß und einen oberen von 1 Fuß Höhe. 50 Prozent Treffer werden sich jetzt ausdehnen nach oben 0,8 Fuß bis a,

Fig. 91.



nach unten 0,8 Fuß bis b. Oben bleiben also nur noch 0,2 Fuß, unten aber 4,2 Fuß; dadurch werden natürlich unten mehr Treffer liegen als oben, und wir müssen deshalb für beide Streifen getrennt die Prozentsätze suchen, wobei jedesmal die halbe Schußzahl zu betrachten ist. Dividiren wir mit 0,8 in 5, so erhalten wir = 6,25; einen Faktor, welcher anzeigt, daß wir den untern Theil nicht verfehlen, also nicht zu kurz schießen werden. Dieser Raum erhält somit 50 Prozent. Dividiren wir jetzt mit 0,8 Fuß in 1 Fuß, so finden wir den Faktor $\frac{1}{0,8} = 1,25$, d. h. wir erhalten von der oberen Hälfte der Schüsse 60 Prozent als Treffer, oder von der ganzen Schußzahl $^1/_2 . 60 = 30$ Prozent, auf der ganzen Scheibe also 80 Prozent. Mithin würden von 20 Schüssen 16 die Scheibe treffen, 4 aber zu weit gehen.

γ. Der mittlere Treffpunkt liege auf 1 Fuß Höhe, so kehren sich die vorigen Verhältnisse um, d. h. die Scheibe erhält von 20 Schuß 16 Treffer und 4 Preller, also eine große Zahl von Sprengstücken.

2) Wie viel Procent Treffer giebt der 6Zer auf 2000 Schritt?

α. Der mittlere Treffpunkt liege auf 3 Fuß Höhe. 50 Procent erfordern 4,9 oder 5 Fuß Höhe, also 2,5 Fuß nach unten, 2,5 Fuß nach oben. Nach jeder Richtung bleiben also nur noch 0,5 Fuß. Dividiren wir mit 5 in 6, so wird der Wahrscheinlichkeitsfaktor = 1,2, und dem entsprechen 58 bis 59 Procent, also von 20 Schuß 11 bis 12 Treffer. Der Verlust geht zur Hälfte nach oben, zur Hälfte nach unten, d. h. wir erhalten außerdem 4 oder 5 Preller und 5 oder 4 Ausreißer, also die Wirkung von 15 bis 16 Schuß.

β. Der mittlere Treffpunkt liege auf 5 Fuß Höhe, also daß für die oben liegende halbe Schußzahl 1 Fuß bleibt. Dividiren wir mit $^5/_2$ Fuß in 1 Fuß, so wird der Faktor $\frac{1}{2{,}5} = 0{,}4$, welchem 21 Procent der halben Schußzahl, also überhaupt $^1/_2 \cdot 21 = 10$ bis 11 Procent entsprechen. Es gehen somit 80 Procent der halben oder 40 Procent der ganzen Zahl zu weit, also von 20 Schuß 8 Schuß. Dividiren wir $^5/_2$ Fuß in 5 Fuß, so zeigt der Faktor 2 ungefähr 82 Procent der halben oder 41 Procent der ganzen Schußzahl, d. h. von 20 Schuß 8 in die Scheibe und 2 Preller. Das Gesammtresultat ist: 10 direkte Treffer, 2 Preller und 8 Ausreißer oder die Wirkung von 12 Schuß.

γ. Der mittlere Treffpunkt liege 1 Fuß vom Erdboden; die vorigen Verhältnisse kehren sich um. Wir erhalten von 20 Schuß: 10 direkte Treffer, 8 Preller, 2 Ausreißer, also die Wirkung von 18 Schuß.

δ. Nehmen wir schließlich an, der mittlere Treffpunkt liege auf 8,5 Fuß Höhe, also 2,5 Fuß über der Scheibe. In diesem Falle gehen zunächst die oben liegenden 50 Procent verloren, und außerdem müssen wir von der Trefferzahl für eine 8,5 Fuß hohe Scheibe diejenige für den 2,5 Fuß breiten Rand, in welchem die günstigste Gruppirung der Treffer sein würde, abziehen. Dividiren wir mit $^5/_2$ in 8,5, so zeigt der Faktor 3,4 für 8,5 Fuß 98 Procent der halben oder 49 Procent der ganzen Schußzahl. Der Faktor $\frac{2{,}5}{2{,}5} = 1$ giebt dem fehlenden Rande der Scheibe 50 Procent der halben, also 25 Procent der ganzen Schußzahl, wodurch die Scheibentreffer auf $49 - 25 = 24$ Procent reducirt werden. Wir würden in diesem Falle von 20 Schuß 5 Treffer erhalten.

Es geht aus dem Vorstehenden hervor, daß wir bei Entfernungen bis etwa 1300 Schritt mit Vertrauen versuchen dürfen, alle Schüsse als Treffer in ein 6 Fuß hohes Ziel zu bringen, wenn wir auf die Mitte der Höhe richten. Wachsen die Entfernungen aber, so ist es durchaus nöthig, daß wir nach einigen hoch liegenden Treffern zwar nicht gleich den Aufsatz ändern, aber den Zielpunkt absichtlich dem Fuß des Zieles näher legen.

c. Verwendung der Trefffähigkeitstabellen beim indirekten Schuß.

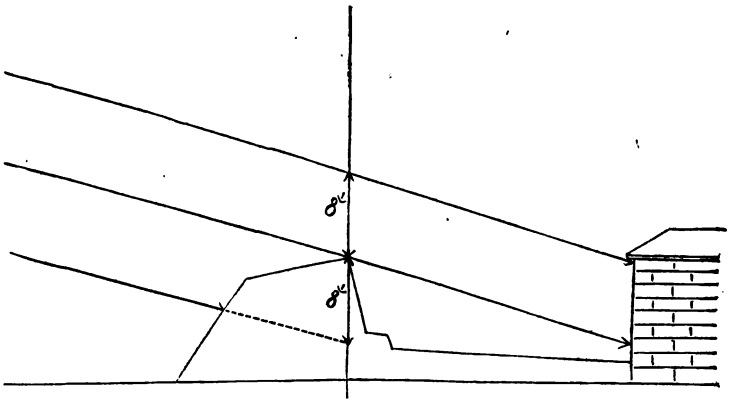
172. Auch bei diesen Betrachtungen wollen wir uns darauf beschränken, die nothwendigsten Regeln zu entwickeln. Nach unserer Vorstellung von der Wahrscheinlichkeit des Treffens nehmen wir an, daß um den mittleren Treffpunkt die dichteste Gruppirung der Schüsse stattfinde — indessen ist das nicht immer der Fall, denn es kommt vor, daß sich zwei deulich getrennte Gruppen bilden, der Art, daß möglicherweise in den für 50 Procent aus den Trefffähigkeitstabellen entnommenen Raum sehr wenig Treffer fallen. Dieser Umstand entzieht sich unserer Betrachtung. Wir müssen vielmehr annehmen, daß die Bahn, für welche die Ladung und Elevation bestimmt worden sind, den mittleren Treffpunkt ergebe; deshalb wählt man wohl auch als Grundlage für die nachträgliche Bestimmung des richtigen Aufsatzes nach einem Schießen den mittelsten Treffpunkt als den normalen. In der Wirklichkeit fällt dieser mit dem berechneten mittleren Treffpunkt meist so nahe zusammen, daß man beide für einander setzen kann. Ist die Schußzahl eine gerade, z. B. 30, so versteht man unter dem mittelsten Treffpunkte den Ort, welcher in der Mitte der beiden mittelsten aller Schüsse, also hier zwischen dem 15. von oben und dem 15. von unten gezählt liegt.

Denken wir nun die Bahn des mittelsten Treffpunktes (dieser hat übrigens den Vortheil größerer Anschaulichkeit) beim indirekten Schusse als die normale, d. h. als diejenige, welche durch die Krete der deckenden Brustwehr nach dem beabsichtigten tiefsten Treffpunkte geht. Es ist dann klar, daß die kürzer gehende Hälfte sämmtlicher Schüsse in die Brustwehr treffen muß, und daß hierunter sich auch die eine Hälfte der dichtesten Gruppe befindet. Wir haben also zu untersuchen, von wie viel Geschossen das Ziel überhaupt wahrscheinlich getroffen wird und welche die günstigste Lage des mittleren oder mittelsten Treffpunktes ist. Natürlich können wir das nur an bestimmten Beispielen ausführen, und strenge genommen würde jeder einzelne Fall seine besondere Untersuchung erfordern; auch ist nicht zu vergessen, daß wir nur von Wahrscheinlichkeiten sprechen und daß Regeln nicht unveränderliche Gesetze sind.

173. Wir nehmen wieder an, wie es durch die Natur gerechtfertigt ist, daß die letzten Stücke der Bahnen (in der vertikalen Projektion) parallel sind, d. h. daß in der senkrechten Ebene über der Krete der Höhenunterschied zwischen dem höchsten und tiefsten Schusse so groß ist, wie in der Zielebene. Danach können wir uns diese Vorstellung machen: In der Krete der deckenden Brustwehr

sei eine nach oben und unten unbegrenzte Scheibe aufgestellt, welche alle Schüsse als Treffer aufnimmt, und der mittelste Treffpunkt falle in die Krete. Als Beispiel wählen wir 1200 Schritt für den 6Zer mit 0,8 Z, welcher Ladung wegen des Einfallwinkels $4^{9}/_{16}$ Grad beim bronzenen 12Zer 1,6 Z und beim 24Zer 2,8 Z entsprechen. Wir finden dann die mittleren Höhenstreuungen beim 6Zer 4,4 Fuß, beim 12Zer 3,7 Fuß, beim 24Zer 4 Fuß. Die Hälften derselben sind 2,2 Fuß, 1,85 Fuß, 2 Fuß oder durchschnittlich 2 Fuß. Sei nun die treffbare Höhe des Zieles über dem beabsichtigten tiefsten Treffpunkte noch 8 Fuß, so giebt die Division von 2 Fuß in 8 Fuß den Faktor 4, d. h. wir dürfen alle über die Krete hinausgehenden Schüsse noch als Treffer erwarten. Die nach unten die Scheibe treffenden Schüsse (Fig. 92) versprechen

Fig. 92.



ebenfalls eine Ausbreitung von 8 Fuß; sie werden aber in Wirklichkeit durch die Brustwehr gehindert, zur Scheibe zu gelangen. Nach der Winkeltabelle gehört zu der Höhe 8 Fuß und dem Winkel $4^{9}/_{16}$ Grad eine Entfernung von etwa 40 Schritt. Nehmen wir die Stärke der Brustwehr zu 24 Fuß oder 10 Schritt an, so sehen wir, daß ein großer Theil der Schüsse naturgemäß die Brustwehrkrone nicht einmal erreicht. Es wird mithin in diesem Falle sehr schwer sein und einen sehr großen Aufwand von Munition erfordern, um nur zu entscheiden, ob der mittlere Treffpunkt in die Nähe der Krete fällt.

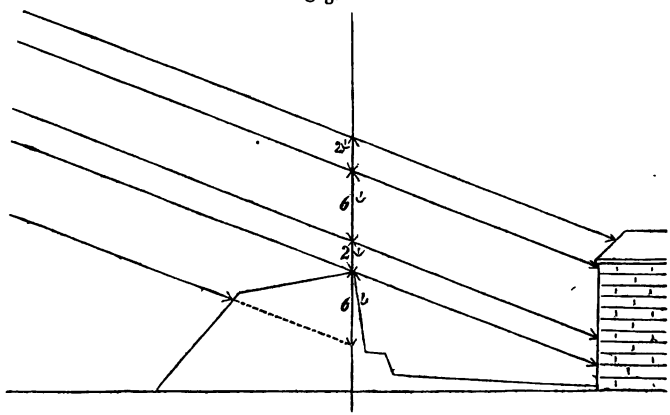
Denken wir uns diesen Treffpunkt um 2 Fuß höher, also die Grenze der mittleren Streuung in die Krete gelegt (Fig. 93), so

werden die höchst gelegenen Schüsse allerdings nicht mehr die Front des Zieles treffen. Diese hohen Schüsse kommen aber nur vereinzelt vor, und da es beim Beschießen von Mauern von Wichtigkeit ist, die Treffergruppe möglichst dicht zu erhalten, so kann es nur von Vortheil sein, für die eingebüßten einzelnen Schüsse die untere Hälfte der dichtesten Gruppe als Treffer zu erhalten. Es unterliegt keinem Zweifel, daß es durchaus Regel sein muß, mehr als die Hälfte der Schüsse über die Krete hinweg zu bringen, zunächst abgesehen von der zufälligen Wirkung, welche bei zu kurz gehenden Schüssen in diesem Falle vollständig verschwindet. Diese Regel ist hinreichend für den Schießplatz.

Wie erkennt man aber die Wirkung im Ernstgebrauche, und wie hat man nöthigenfalls zu korrigiren?

174. Es ist zunächst daran zu erinnern, daß die Trefffähigkeitstabellen nicht nur ein Maß für ein einzelnes Geschütz, sondern gleichzeitig für die ganze Gattung, also gewiß für eine Batterie aus

Fig. 93.



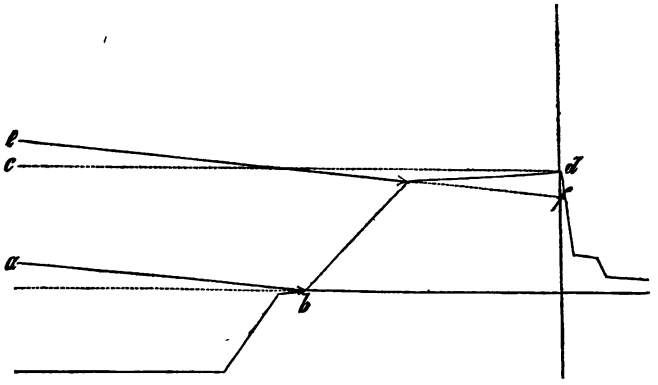
mehreren Geschützen sind. Außerdem wird man diese schwierige Schußart bei kleineren als den Gebrauchsladungen nie weiter auszudehnen haben, als die Grenzen einer möglichst aufklärenden Beobachtung gestatten. Die Beobachtung wird uns in den Stand setzen, uns über die annähernde Richtigkeit der Elevation oder über das „zu kurz" resp. „zu weit" zu unterrichten, während eine ganze Batterielage im Falle des Zutreffens uns über die ungefähre Lage des mittleren Treffpunktes Aufschluß geben wird. Jedenfalls scheint es durchaus falsch, schon nach einem Schusse sich

entscheiden zu wollen, wenn dieser nicht außerhalb der wahrscheinlichen Grenze der Richtigkeit fällt; man muß eben die ganze Lage abwarten. Gehen alle, z. B. 4 Schüsse zu weit oder zu kurz, so muß man zur Korrektur schreiten. Zur Ermöglichung einer Beobachtung, wenn sie nicht von einer seitlichen Ausstattung ausführbar ist, wird man versuchen müssen, einen Erdaufwurf zu erbauen, welcher gestattet, wenigstens die Oberfläche des Zieles zu erkennen. Ein anderes Beobachtungsmittel giebt die Färbung der nach dem Krepiren der Granate aufsteigenden Rauchwolke. Wir schießen, wenn über die Brustwehr hinweg, höchst selten zu kurz. Treffen wir die Mauer, so erscheint der Rauch röthlich, treffen wir die Decke, dann grau gefärbt; auch wird man wohl oft beurtheilen können, ob die Wolke nahe oder weit hinter der Brustwehr aufsteigt. Nach wenigen Schüssen werden wir darüber aufgeklärt sein, ob wir entschieden zu kurz, d. h. vor die Krete der Brustwehr, oder entschieden zu weit, d. h. über das zu treffende Reduit hinwegschießen. In beiden Fällen verändern wir die Elevation, um ungefähr gleich viel Schüsse über die Krete hinweg und vor dieselbe auf die Brustwehrkrone zu bringen, d. h. um den mittleren oder mittelsten Treffpunkt selbst in die Krete zu legen. Nach dem Vorigen wollen wir diesen Treffpunkt aber etwas höher legen und das geschieht durch Vergrößerung des Aufsatzes um $^1/_{16}$ Zoll (bei langen Visirlinien). Wie beurtheilt man aber dann die Richtigkeit des Aufsatzes oder die Nothwendigkeit einer Korrektur? Gehen wir zu unserem Beispiele zurück und nehmen, um die äußersten Grenzen zu besprechen, an, daß

1) die Berme der Brustwehr z. B. 15 Fuß tiefer liege als die innere Krete, der Fall der Krone betrage 1 Fuß, die Brustwehr habe bei einer oberen Breite von 20 Fuß halbe Anlage, so liegt die Berme 27 Fuß vor der Krete. Wir hatten einen Einfallwinkel von $4^9/_{16}$ Grad angenommen, damit ein Schuß a h (Fig. 94) die Berme treffen kann, müßte er laut Winkeltabelle schon ungefähr 80 Schritt vorher durch die Horizontalebene c d gehen, in welcher die innere Krete liegt.

Ein solcher Schuß liegt also vollständig außerhalb der Wahrscheinlichkeit, zu der günstigen Gruppe zu gehören. Das folgt aber schon von selbst daraus, daß er überhaupt 15 Fuß tiefer einschlug als die Krete liegt; in demselben Falle sind wir überhaupt schon allen Schüssen gegenüber, welche mindestens 8 Fuß tiefer als die Krete treffen. Nehmen wir nun

Fig. 94.



2) einen Treffer für die äußere Bruſtwehrkrete, welche 1 Fuß tiefer liegt als die innere. Zu einer Entfernung von 20 Fuß (Breite der Krone) und $4^{9}/_{16}$ Grad gehört eine Höhe von 1 Fuß, d. h. dieſer Schuß würde unſere gedachte Scheibe 2 Fuß unter der Krete treffen, in welcher wir die Grenze der dichteſten Gruppe haben wollen. Dieſe haben wir nach den Trefffähigkeitstabellen 2 Fuß unter dem mittleren Treffpunkt angenommen, alſo unſer Schuß wird 4 Fuß unter denſelben Punkt fallen. Dividiren wir mit den 2 Fuß für 50 Prozent der halben Schußzahl oder für 25 Prozent der ganzen in 4 Fuß, ſo zeigt der Quotient 2 als Wahrſcheinlichkeitsfaktor, daß auf die 4 Fuß unter dem mittleren Treffpunkte 82 Prozent der halben oder 41 Prozent der ganzen Schußzahl kommen. Die Bruſtwehrkrone abſorbirt alſo unter dieſen Umſtänden 16 Prozent aller Schüſſe und 9 Prozent fallen in die äußere Böſchung. Es iſt danach unter dieſen Umſtänden, wenn der mittlere Treffpunkt 2 Fuß über der Krete liegt, nicht naturwidrig, wenn bei richtigem Aufſatze einige Schüſſe in dieſe Böſchung fallen. Beim Beſchießen eines feſten Platzes iſt es aber offenbar nachtheiliger, Schüſſe durch zu kurz als durch zu weit zu verlieren. Wir werden deshalb den mittleren Treffpunkt noch höher legen und nun folgende Regel erhalten: Trifft der erſte Schuß die äußere Bruſtwehrböſchung, ſo wird unbedingt um mindeſtens 25 Schritt nach der Schußtafel korrigirt; trifft dann die ganze Batterielage auf die Krone, ſo wird wieder aufwärts korrigirt, denn es iſt das ein Zeichen, daß der mittlere Treffpunkt wahrſcheinlich noch nicht die innere Krete erreicht. Da die Punkte der Krone tiefer liegen, als

die Krete, und da der mittlere Treffpunkt noch über diese gehoben werden soll, so haben wir in diesem Falle mit $^2/_{16}$ Zoll zu korrigiren. Schlägt nur die Hälfte einer Anzahl Schüsse auf die Krone und geht die andere Hälfte weiter, so liegt der mittlere Treffpunkt wahrscheinlich in der Krete und wir korrigiren mit $^1/_{16}$ Zoll aufwärts. Trifft von je vier Schüssen nur einer die Krone, so haben wir Grund, die Elevation als richtig anzusehen und als Resultat der Trefffähigkeitslehre erhalten wir die allgemeine Regel: Man hält die Elevation für richtig, wenn ungefähr $^1/_4$ aller Schüsse auf die Brustwehrkrone trifft.

175. Unwillkürlich wirft sich die Frage auf: Ist es unter allen Umständen nöthig, daß $^1/_4$ der Schüsse zu kurz gehe? — oder mit andern Worten: Schießt man immer zu weit, wenn alle Schüsse über die Brustwehr hinweggehen? Nach den Beobachtungen über die Wahrscheinlichkeit des Treffens ist diese Frage durchaus zu bejahen, und doch zeigte ein Versuch in Jülich, daß bei dem Beschießen eines gedeckt liegenden Blockhauses von 48 Schüssen nur einer auf die obere Decke schlug und einer darüber hinweg ging, ohne daß die Brustwehr ein einziges Mal getroffen wäre. Dafür gab es aber mehrere Aufschläge zwischen Brustwehr und Blockhaus, und das beweist nichts Anderes, als daß die Ladung zu klein gewählt war, was übrigens seinen Grund darin hatte, daß man noch keine vollständige Schußtafel besaß, sondern die Ladung benutzen mußte, welche aus früheren Versuchen (1,6 ℔ beim bronzenen 12Ller) bekannt war. Dieser Fall wird im Ernstgebrauche, wo man oft die Profilverhältnisse des feindlichen Werkes nicht genau kennt, sich wohl wiederholen. Ist die Ladung richtig bestimmt, so kann kein Schuß zwischen die Brustwehr und das Reduit fallen. Geschieht es dennoch, und hat man durch Beobachtungen die Ueberzeugung, daß man das Ziel wirklich mit einer genügenden Procentzahl treffe, so darf man mit Sicherheit die in den Schußtafeln als nächst größere angegebene Ladung als richtig ansehen und anwenden. Kann man nicht beobachten, so ist das Zuweitschießen ein blindes. Es äußert sich dadurch, daß kein Schuß auf die Brustwehr trifft, und es ist zu untersuchen, worin der Grund dafür liegt und andererseits danach zu streben, die Schüsse in den Bezirk unserer Beobachtung zu bringen. Offenbar schießen wir zu weit mit zu großer Elevation. In einer Belagerung wird es beim Beschießen gedeckt liegender Werke nicht wie bei Friedensübungen auf einige Probeschüsse ankommen, auch handelt es sich nicht um den Gewinn einer halben oder ganzen Stunde; aber von höchster Wichtigkeit ist der moralische

Eindruck, welchen unsere Wirkung sowohl auf die vertheidigende als auf die zum Sturme bestimmte Infanterie ausübt.*) Diese Wirkung ist aber nur dann eine günstige, wenn der Artillerist schnell entschlossen sein Werk angreift. Sind wir also über unsere Leistungen vollständig im Zweifel, so würden wir zunächst mit einer Elevations- resp. Aufsatz-Verminderung um wenigstens 50 Schritt beginnen, weil man auf den gewöhnlichen Entfernungen des indirekten Schusses der Schußtafel im Allgemeinen wohl so große Abweichungen zutrauen darf; ist das noch zu weit, so gehen wir zum zweiten Male 50 Schritt abwärts, denn wir wiederholen den Satz, Korrekturen müssen entschieden sein, aber nicht in Folge eines einzelnen, sondern von mindestens 4 Schüssen. Setzen wir nun voraus, was bei dauernden Positionen vor Festungen entschieden geschehen darf, daß die Entfernung der Krete uns bekannt sei, so können die jetzt entstehenden Fehler nicht mehr in der Schußtafel liegen, und wir können nur noch schließen, daß wir durch eine zu starke Ladung zu weit schießen, d. h. daß die Bahnen zu flach sind. Von einer Ladung zur nächst kleineren der Schußtafel sind die Bahnen aber nur wenig verschieden; will man deshalb mit Ladung korrigiren, so muß man mindestens eine der angegebenen Ladungen überspringen, also beim 6Zer und 12Zer mit 0,2 Z, beim 24Zer mit 0,4 Z ändern. Wir würden für die Praxis so sagen: Kennt man beim indirekten Schuß nichts außer der Entfernung der Krete vom Geschütz, so kann man unter Umständen, z. B. wenn unsere Batterie die feindliche überhöht, mit der starken Gebrauchsladung beginnen (weil ja die zu weit gehenden Schüsse gegen Festungen nicht verloren sind) und von Lage zu Lage durch Verringerung der Ladung korrigiren. Man möge hierbei bemerken, daß dies nicht die allgemeine Regel, sondern nur eine Antwort für den leicht eintretenden, sehr wahrscheinlichen Fall sein soll, in welchem wir nicht im Stande sind, die theoretische Bestimmung von Ladung und Elevation zu verwenden. Es zeigt sich hierbei auch der Nutzen, welcher aus der Kenntniß der Verwandtschaft der Schußtafeln hervorgehen kann. Ganz selbstverständlich ist es immer schwierig, ein ungesehenes Ziel zu beschießen, wenn man zugleich auch keine Beobachtungsmittel hat; es bleibt dann aber kein anderer Führer als die Vorstellung von der Leistungsfähigkeit und der natürlichen, in ihren allgemeinen

*) Wir erinnern uns des scherzenden Ausspruchs eines unserer bedeutendsten Artilleristen gegenüber der Behauptung eines hohen Ingenieurs, während des Sturmes die Bresche eines Blockhauses mit Sandsäcken verstopfen zu können: „So lasse ich mit Manöver-Kartuschen feuern, nach solcher Verwüstung betritt Niemand das Reduit."

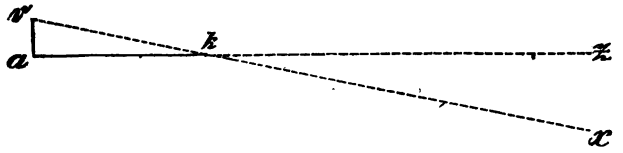
Grenzen gesetzmäßigen Streuung der Geschosse bestimmter Geschützarten.

176. Daraus ließe sich dann vielleicht ein Beobachtungsmittel herleiten, welches sich in der Praxis wohl oft verwerthen ließe. Wir würden den Versuch vorschlagen, zu sehen, ob es möglich sei, ungefähr die Höhe zu beobachten, in welcher das Geschoß über die Krete hinweg geht. Die kleinen Ladungen des indirekten Schusses geben den Granaten so geringe Geschwindigkeiten, daß man sie vom Geschütze aus, hinter ihnen stehend, genau verfolgen kann. Würde man die genannte Höhe über der Krete beurtheilen können, so würden die Trefffähigkeitstabellen sofort Aufschluß geben über den Werth des Schießens. Da die ganzen Streuungen gewöhnlich ungefähr viermal so groß sind, als die mittleren, so würden wir diese Regel erhalten: Man korrigirt abwärts, wenn von vier Schüssen zwei höher über die Krete hinweggehen, als das Dreifache der für 50 Procent Treffer in den Trefffähigkeitstabellen enthaltenen Zahl beträgt. In dieser Regel ist dann der Nutzen jener Tabellen am deutlichsten ausgedrückt.

177. Bei der Bestimmung von Ladung und Elevation haben wir nur die erstere nach Maßgabe des nöthigen Einfallwinkels aufgesucht, während die letztere sich von selbst ergab. Durch das Richten über den Aufsatz nach einem Punkte der Krete sind wir unabhängig von dem Terrainwinkel derselben. Unseres Wissens ist diese Art der Ausführung des indirekten Schusses zuerst in der Einleitung zu den Schußtafeln vom Jahre 1856 gegeben worden; sie ist abgeleitet aus dem früheren Verfahren, wonach man zuerst die zulässig kleinste Erhöhung mit Einschluß des genannten Terrainwinkels und dann die zugehörige Ladung bestimmte.

Wie wir gesehen haben, gestatten die gezogenen Geschütze noch in höherem Grade umständliche Rechnungen zu vermeiden. Wenn man früher mit dem Quadranten die erste Elevation gab und dann einen künstlichen Zielpunkt wählte, so werden wir von vornherein mit dem Aufsatze richten, da indessen die Krete möglichenfalls nicht einen guten Zielpunkt (schon wegen des Abkämmens durch unsere Geschosse) für die ganze Dauer des Schießens gestattet, so suchen wir auch jetzt, nachdem wir einmal mit dem vorgeschriebenen Aufsatz gerichtet haben, mit einem ganz beliebigen Aufsatz einen künstlichen Zielpunkt. Die Entfernung desselben ist ganz gleichgültig; will man also um irgend ein Aufsatzmaß korrigiren, so geschieht das unbekümmert um jene Entfernung. Hätte nämlich (Figur 95) die Visirlinie die Richtung a k z, und sei a v der Zuwachs an Aufsatz;

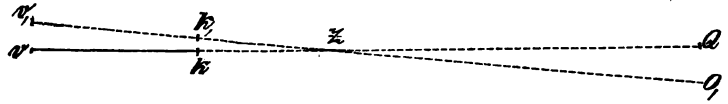
Fig. 95.



so geht die neue Visirlinie auf x, also um das Stück z x unterhalb z; wird dann a abwärts gedreht (gleichgültig um welche Axe), bis man über v und k nach z sieht, so zeigt a k jetzt um dasselbe Stück z x oberhalb z, da der Winkel v k a unverändert ist; wäre nun k z doppelt so lang, so ist das Stück z x doppelt, aber dabei doch unterhalb und oberhalb z gleich groß. Ebenso ist es bei der Seitenverschiebung; natürlich ist aber die Größe der Korrektur nach der Entfernung des Schußobjektes zu bestimmen.

178. Anmerkung. Wir wollen hierbei zugleich von dem Einflusse der Stellung des Geschützes sprechen. Es ist ganz gleichgültig, ob die Räder höher stehen als der Laffetenschwanz oder umgekehrt, da die Elevation des Rohres von der Laffete unabhängig ist. Anders verhält es sich aber mit der seitlichen Richtung des Geschützes und der Stellung der Räder. Die seitliche Richtung ist immer richtig, wenn man auf den zu treffenden Punkt selbst oder auf einen dahinter liegenden, sie kann aber falsch sein, wenn man auf einen vor dem Objekte liegenden Punkt zielt. Hat man nämlich einmal gerichtet (Figur 96) über o k nach z, so daß o gedeckt

Fig. 96.



wird, steht dann das Geschütz etwas seitlich und man richtet mit demselben Aufsatz nach z, so wird die erste Richtungslinie in z geschnitten und die neue Richtung weicht in o, in dem Verhältnisse von o ab, als die Entfernung v z von der z o übertroffen wird. Beträgt bei v z = 100 Schritt beispielsweise vv_1 zwei Zoll, so ist bei vo = 2000 Schritt aus $vv_1 : oo_1 = vz : zo$ oder zwei Zoll : oo_1 = 100 : 1900. Die Abweichung oo_1 = 38 Zoll. Diese Zahl wächst mit vv_1 und zeigt also, daß man bei der Wahl eines im Verhältnisse zum Schlußobjekte sehr nahen künstlichen Zielpunktes darauf zu sehen hat, von Schuß zu Schuß möglichst dieselbe Stellung des Geschützes zu erlangen. Von größerer Bedeutung kann

der schiefe Stand der Räder sein, da die durch Visirlinie und Seelenaxe bestimmte Ebene nicht mehr senkrecht steht. Beim Zielen über Visir und Korn ist bei verglichenen Geschützen die Visirlinie immer mit der Seelenaxe parallel, und deshalb ist in diesem Falle die Stellung der Räder ganz gleichgültig. Wenn aber bei Anwendung von Aufsatz die Räder schief stehen, so fällt offenbar das Visir mehr seitlich von der Seelenaxe als die Kornspitze, d. h. man zielt von vorn herein mit nicht beabsichtigter Seitenverschiebung. Die theoretische Bestimmung des Einflusses der Ueberhöhung eines Rades über das andere ist durch eine Formel, welche der Herr Hauptmann v. Schirmann in seinem Buche: „Versuch zu einem System der Artilleriewissenschaft" giebt, sehr bequem gemacht. Sie heißt $t = w \frac{a}{l} \frac{h}{g}$ und es bedeuten darin t die Größe, um welche man am Ziele falsch richtet, w die Schußweite, a der Aufsatz, l die Länge der Visirlinie, h die Ueberhöhung eines Rades, g die Geleisebreite (58 Zoll). Aus der Formel ersieht man, daß der Fehler um so größer wird, je kürzer die Visirlinie ist, weil l im Nenner steht; da aber kurze Visirlinien kleine Aufsätze verlangen, so ist das Verhältniß $\frac{a}{l}$ nur abhängig von der Elevation, unbekümmert um die Größen von l und a. Dieses Verhältniß $\frac{a}{l}$ ist die trigonometrische Tangente der Elevation (dagegen $\frac{h}{g}$ die der Böschung β des schiefen Standes, so daß die Formel auch heißt $t = w \text{ tang } \alpha \text{ tang } \beta$). Wir wollen für unsern Kolbenverschluß 6Ler, dessen Visirlinie 77 Zoll beträgt, eine Tabelle berechnen, aus welcher man ersehen kann, ob im Felde auf den Stand der Räder zu rücksichtigen ist; im Festungskriege kommt dieser Fall wohl überhaupt nicht zur Sprache.

Entfernung.	Ein Rad steht höher als das andere:		
	1 Zoll.	6 Zoll.	12 Zoll.
Schritt.	Dann zielt man falsch um Schritt.		
1000	0,6	3,6	7,2
1800	2,2	13,2	26,4
2500	4,5	27	54

Man sieht, daß der Fehler ganz bedeutend werden kann. Bedenkt man aber, daß die in den Schußtafeln angegebene Seitenverschiebung nur erster Anhalt ist, daß die Geschosse auch seitlich sich ausbreiten und daß es ferner im Feldkriege wohl selten auf die genaue Seitenrichtung ankommt, so sieht man, daß diese Sache mehr theoretisches als praktisches Interesse bietet.

Anhang. Weitere Bemerkung über den Vergleich der Wirkungen verschiedener Kaliber. Die Kenntniß der Treffähigkeit der Geschütze vervollständigt die Gesetze für die Beurtheilung des Werthes derselben. Gegen feste Ziele haben wir das Uebergewicht schwererer Kaliber erkannt in Bezug auf den einzelnen Schuß. Es ist leicht zu sehen, daß die wichtigen Rücksichten gar kein Ende nehmen; so z. B. müßte man doch gewiß den pekuniären Nachtheil ins Auge fassen, welcher durch den Verlust einer theureren Granate entsteht und dem gegenüber den Gewinn, welcher in dem Schaden liegt, welchen dieselbe dem Ziele zufügt. Wir wollen indessen nach dem früher besprochenen annehmen, beide hielten sich das Gleichgewicht. Es bleibt uns dann die Berücksichtigung der Beweglichkeit und der Leichtigkeit der Bedienung, und deshalb namentlich der Treffähigkeit auf verschiedenen Entfernungen. Offenbar wird die Wirkung von zwei Treffern in gegebener Zeit doppelt so groß sein, als von einem; daraus leiten wir das Gesetz ab: Die Zerstörungsmomente verhalten sich wie die Zahl der Treffer auf einen gewissen Raum, d. h. wie die Treffer-Procente für gewisse Ausdehnungen. Man muß natürlich nicht vergessen, daß wir mit Wahrscheinlichkeiten zu thun haben, daß man also nicht die pünktlichste Genauigkeit verlangen darf. Will man nun zwei Geschütze vergleichen, so berechne man ihre Zerstörungsmomente bei gleicher Treffähigkeit und füge dann die wahrscheinlichen Trefferprocente als Faktoren hinzu.

Beispiele: 1) Ein Reduit, dessen vordere Wand in einer Höhe von 6 Fuß treffbar ist, kann auf 850 Schritt aus dem 6Ker mit 0,7 K beschossen werden oder auf 1300 Schritt mit 1 K. Was ist vortheilhafter? Die Massen sind gleich, die Geschwindigkeiten sind 704 Fuß und 870 Fuß, die Trefferprocente ergeben sich 83 und 80, wovon $^1/_4$ zu kurz gehen sollen. Die Werthe der Ladungen verhalten sich also wie $704^2 . 62 : 870^2 . 60$.

2) Dasselbe Ziel kann aus dem 24Ker mit 4 K auf 1300 Schritt beschossen werden. Die Massen sind 13,8 K und 54,3 K, die Geschwindigkeiten 870 Fuß, die Trefferprocente 80 und 75. Das Verhältniß der Werthe also $13,8 . 60 : 54,3 . 56$.

3) Was ist vortheilhafter, abgesehen von anderen Umständen,

eine 10 Fuß hohe Mauer aus dem bronzenen 12Ker mit 2,1 K auf 2000 Schritt oder aus dem 24Ker mit 4 K auf 3000 Schritt zu beschießen? Massen: 29 K und 54 K, Geschwindigkeiten: 780 Fuß und 790 Fuß, Einfallwinkel 6^{10} und 9^{15} Grad, Trefferprocente: 75 und 35. (Mittlere Längenstreuung 38,2 Schritt, dafür in der Winkeltabelle 15 Fuß Höhe, das giebt den Faktor $\frac{10}{15} = 0{,}67$ oder 35 Procent.) Das Verhältniß der Werthe also 29.780^2 75. cos 6^{10} : 54.790^2 35 cos 9^{15}. (cosinus weil die Wand senkrecht steht.) Die Geschwindigkeiten sind als gleich anzusehen; dann erhalten wir in abgerundeten Zahlen:

$$29 \,.\, 75 \,.\, 0{,}993 : 54 \,.\, 35 \,.\, 0{,}985,$$

und setzen wir auch die Cosinus gleich, so wird

$$29 \,.\, 75 : 54 \,.\, 35 = 2175 : 1890,$$

d. h. der 12Ker ist auf 2000 Schritt dem 24Ker auf 3000 Schritt nur wenig überlegen und zwar so, daß 6—12Ker auf 2000 Schritt eben so viel als 7—24Ker auf 3000 Schritt, aber 6—24Ker auf 3000 Schritt mehr werth sind als 5—12Ker auf 2000 Schritt. Weitere Folgerungen überlassen wir dem Studium des Lesers. Namentlich wichtig würde diese Untersuchung in Bezug auf das Beschießen von Erdwerken sein, wofür dem Zerstörungsmomente wohl noch ein neuer Faktor zu Gunsten des größeren Kalibers hinzuzufügen sein würde. Man erkennt die Wichtigkeit dieser Beurtheilungen für den Belagerungskrieg.

C. Die praktische Verwerthung der Flugzeitbeobachtungen.

In diesem Abschnitte wollen wir zunächst dasjenige Verhalten besprechen, welches man anzuwenden hat beim Beschießen solcher Ziele, welche sich in Bewegung befinden, und dann das Schießen von Shrapnels mit Zeitzündern betrachten. Es wird hierbei sich auch die Gelegenheit bieten, Einiges über die Beobachtungen im Felde und über die Distancemessungen zu sagen; wie wir andererseits durch die Shrapnels als Streugeschosse auch auf die Kartätschen geführt werden.

a. Das Beschießen von Zielen, welche in Bewegung sind.

179. Die Bewegung unserer Ziele kann stattfinden in der Schußrichtung oder unter einem Winkel dazu, und in Bezug auf die erstere kann sich die Entfernung verkleinern wie beim Angriffe oder vergrößern wie beim Rückzuge. Bei der Bewegung in der Schußrichtung haben wir nur mit einer Veränderung der Entfernung zu thun, und deshalb werden die Korrekturen im Wesentlichen

denen der entgegenstehenden Ziele gleich sein. Dies ist jedoch auf die Fälle zu beschränken, wo die Schätzung der Entfernung mit einem so großen Fehler behaftet ist, daß es überhaupt einen Werth hat, eine Korrektur eintreten zu lassen. Um die wirklichen Verhältnisse zu prüfen, ist es, nachdem wir früher die Ermittelung der Flugzeiten besprochen haben, nöthig, eine Vorstellung von der voraussichtlichen Geschwindigkeit des Zieles und von der von unseren Geschossen zu seiner Erreichung verbrauchten Zeit zu machen. Es kann sich natürlich hier nur um die starke Gebrauchsladung handeln. Die Bewegungsgeschwindigkeiten der Ziele sind in den Vorbemerkungen zu den allgemeinen Schußtafeln in folgender Weise angegeben:

In einer Sekunde zurückgelegter Weg.

Infanterie		2	Schritt,
Kavallerie und Artillerie	Schritt	2	=
	Trab	5	=
	Galopp	8,3	=
	Marsch-Marsch	10—11	Schritt,
Schnellfahrende Eisenbahnzüge		10—25	Schritt,
Dampfschiffe	(10 Knoten*)	= 7	Schritt,
	(12 =	= 8,3	=
	(14 =	= 9,7	=

Die Flugzeiten der Granaten sind in folgender Tabelle aufgeführt:

Entfernung.	Keil- und Kolben- 6 ℳer 1,2 ℳ	Keil- 6 ℳer 1,4 ℳ und 4 ℳer 1 ℳ	Bronzener 12 ℳer 2,1 ℳ	Eiserner 12 ℳer 2,1 ℳ	24 ℳer		
					4 ℳ	5 ℳ	6 ℳ
Schritt.	Flugzeit der Granaten in Sekunden.						
500	1,2	1,1	1,4	1,3	1,3	1,2	1,0
1000	2,5	2,3	2,8	2,6	2,6	2,5	2,1
1500	3,8	3,6	4,2	3,9	3,9	3,8	3,1
2000	5,2	5	5,6	5,3	5,3	5,1	4,2
2500	6,7	6,4	7,2	6,8	6,8	6,5	5,4
3000	8,3	7,9	8,9	8,5	8,5	8	6,8
3500	10,1	9,7	10,7	10,3	10,2	9,5	8,2
4000	12	11,5	12,6	12,1	12	11,2	9,6
4500	14,1	13,3	14,7	14,1	13,8	13,9	11,1
5000	16,3	15,5	16,9	16,2	15,7	14,7	12,6

*) 10 Knoten oder Meilen ist der in einer Stunde zurückgelegte Weg. 1 Knoten wird zu 6000 Fuß = 2500 Schritt gerechnet.

Für unsere Zwecke wird es vollkommen hinreichen, dieser Tabelle eine einfache Gedächtnißregel zu substituiren: Die Flugzeiten unserer Geschosse sind bei den starken Gebrauchsladungen durchschnittlich dreimal so viel Secunden, als die Entfernungen tausende Schritt betragen*).

500	Schritt	=	½	Tausend	=	1½	Secunden,
1000	"	=	1	"	=	3	"
1500	"	=	1½	"	=	4½	"
2000	"	=	2	"	=	6	"
2500	"	=	2½	"	=	7,5	"
3000	"	=	3	"	=	9	"
4000	"	=	4	"	=	12	"
5000	"	=	5	"	=	15	"

Genauer, aber weniger einfach, würden wir den Faktor bis 3000 Schritt setzen 2½, und über 3000 Schritt, wie hier, 3:

500	Schritt	=	½	Tausend	=	1¼	Secunden,
1000	"	=	1	"	=	2½	"
1500	"	=	1½	"	=	3¾	"
2000	"	=	2	"	=	5	"
2500	"	=	2½	"	=	6¼	"
3000	"	=	3	"	=	7½	"

Jedenfalls sieht man, daß die Geschosse solche Zeiten verbrauchen, welche man in manchen Fällen nicht außer Acht lassen darf, z. B. beim Beschießen von Eisenbahnzügen und Seeschiffen.

180. Um nun auf die Praxis einzugehen, wollen wir uns zunächst denken, der Feind bliebe in der Schußrichtung. In diesem Falle haben wir die Flugzeit nicht, dagegen aber die Richtung der feindlichen Bewegung zu beachten. Nähert sich der Feind, so wird man sich vorzüglich hüten, zu weit zu schießen; man wird vielmehr absichtlich zu kurz schießen, weil die Sprengstücke den Feind immer beschädigen, weil er bei jeder Gangart sich in unser bestes Feuer hineinarbeitet, ohne zu oft zu Korrekturen zu zwingen. Das heißt also: Man lasse den Feind selbst auf die Entfernung kommen, welche wir uns als bekannt erschossen haben, um ihn hier mit Sicherheit zu treffen. Daraus schließen wir, daß es rationell ist, auch die Korrekturen so einzurichten, daß wir von Neuem zu kurz schießen, und zwar um so mehr, je schneller die Annäherung ist.

*) In den von dem Verfasser veröffentlichten Gedächtnißregeln sind die Flugzeiten für den 4ℳer und Keil-6ℳer mit 1,4 ℳ etwas zu klein angegeben.

Entfernt sich der Feind, so ist zu beachten, daß unser Feuer ihn stets in möglichst wirksamer Weise erreichen muß, daß wir uns also zu hüten haben, zu kurz zu schießen. Fällt eine Granate über 50 Schritt zu kurz, so wird sofort mit 100 Schritt vorwärts korrigirt.

181. Bewegt sich der Feind quer zur Schußlinie, so haben wir auf die Dauer der Flugzeiten zu rücksichtigen, und zwar in so einfacher Weise, daß es möglich ist, sich auf das Gedächtniß zu verlassen. Der Mangel an Genauigkeit wird dadurch ausgeglichen, daß die Artillerie-Ziele immer von bedeutender Ausdehnung sind. Nach den Tabellen über die Geschwindigkeiten der Kavallerie und unserer Geschosse würden letztere für 1000 Schritt $2\frac{1}{2}$, für 1500 Schritt $3\frac{3}{4}$, für 2000 Schritt 5 Secunden gebrauchen, während die Kavallerie

im Trabe	in 1 Secunde	5	Schritt,	
also	in $2\frac{1}{2}$	=	$12\frac{1}{2}$	=
	= $3\frac{3}{4}$	=	$18\frac{3}{4}$	=
	= 5	=	25	=
im Galopp	= 1	=	8	=
	= $2\frac{1}{2}$	=	20	=
	= $3\frac{3}{4}$	=	30	=
	= 5	=	40	=
im Marsch-Marsch	= 1	=	10	=
	= $2\frac{1}{2}$	=	25	=
	= $3\frac{3}{4}$	=	$37\frac{1}{2}$	=
	= 5	=	50	=

zurücklegt. Wollten wir danach auf die vorbeireitende Kavallerie erst richten, wenn wir sie in Sicht haben, so wäre es leicht möglich, daß unsere Granaten zu spät kommen würden, um so mehr, wenn der Feind in dünner, von uns aus nur zu flankirender Linie marschirt. Auch bei tieferer Formation müssen wir vorhalten und mindestens feuern, wenn die Tete in unsere Richtung tritt. Beschießen wir aber jene dünne Linie, so ist das Feuer gegen dieselbe schon zu spät, wenn wir sie in unsere Richtung treten sehen. Wir werden sogar gezwungen sein zu feuern, wenn die Kavallerie-Linie noch hinter der Richtung des Geschützes zurück ist und zwar

bei 1000	Schritt	mindestens	10 bis 15	Schritt,
= 1500	=	=	15 = 20	=
= 2000	=	=	20 = 30	=

Es dürfte auch, je nach dem Terrain, leicht nothwendig sein, bei Zeiten „halb links“ oder „halb rechts um“ zu machen. In

Bezug auf die Deviationen würden wir sagen, daß gegen Truppen die Seitenverschiebung nie nöthig ist.

182. Die beweglichen Ziele sind aber nicht immer Truppen, welche zu beschießen der Natur der Sache nach immerhin weniger Ueberlegung theils erfordert, theils überhaupt zuläßt. Gegen dieselben ist der moralische Effekt schon allein oft von der höchsten Bedeutung. Anders ist es beim Beschießen von Eisenbahnzügen, welche einer größeren Geschwindigkeit fähig sind als Kavalleriemassen, und bei Dampfschiffen, welche den Anschlag von Sprengstücken wenig, meist gar nicht zu fürchten haben, sondern, wo möglich, durch Vollgeschosse direkt getroffen werden müssen.

Beim Beschießen eines Eisenbahnzuges wird man offenbar danach streben, die Maschine zu treffen. Die Geschwindigkeit wird wohl immer die größtmögliche sein, d. h. in einer Sekunde etwa 20 Schritt, während übrigens die Lokomotiven der Courierzüge mit hohen Rädern noch mehr zu leisten im Stande sind. Die Flugzeiten der Granaten gestalten also dem Zuge

auf	1000	Schritt	in	$2^1/_2$	Sekunden	50 Schritt,
=	1500	=	=	$3^3/_4$	=	75 =
=	2000	=	=	5	=	100 =
=	3000	=	=	$7^1/_2$	=	150 =
=	4000	=	=	12	=	240 =
=	5000	=	=	15	=	300 =

Züge von geringer Wagenzahl und auf großen Entfernungen, die man überdies vielleicht nicht genau kennt, werden immer schwer zu treffen sein, da selten Zeit zu Korrekturen übrig sein wird. In Bezug auf die Entfernung würden wir zu folgendem Mittel rathen. Schätzt man die Entfernung etwa 2500 Schritt, so vertheile man die Geschütze der Batterie so, daß eines auf 2300, das folgende auf 2400, das dritte und vielleicht auch das vierte auf 2500 Schritt, die beiden anderen noch um je 100 Schritt weiter richten. Kennt man die Entfernung genauer, so können die Intervalls natürlich kleiner sein, kennt man sie ganz sicher, so feuern alle Geschütze auf 2500 Schritt. Ist man aber über die Entfernung ganz im Unklaren, so hat man auf wenig Erfolg zu rechnen.

In Bezug auf die Zeit müssen wir die vorhin gegebenen, durch die Geschwindigkeit des Zuges bedingten Zahlen berücksichtigen. Wir haben also nicht allein nicht *auf* den Zug zu richten, oder nicht auf ihn zu feuern, wenn er in unsere Richtung kommt, sondern es genügt noch nicht einmal, auf einen Punkt zu richten, welcher um eine jener Zahlen vor dem Zuge liegt, vielmehr müssen

wir schon bereit sein zu feuern, wenn er nur jene Entfernungen erreicht.

Das Richten erfordert auch Zeit und es ergiebt sich, daß wir mindestens noch 100 oder 150 Schritt vorweg richten müssen und zwar mit den Aufsätzen für oben besprochene Schußweiten. Die an den Eisenbahnen aufgestellten Stangen der Telegraphenleitung, deren Intervalls im Durchschnitt 100 Schritt betragen, werden willkommene Zielobjekte sein. Der Zugführer oder der Batteriechef würde eine bestimmte Stange bezeichnen und eine nächste oder einen Punkt zwischen zwei nächsten oder ähnlich als den bestimmen, auf welchen die Maschine gekommen sein muß, um beschossen zu werden. Es dürfte sich empfehlen, die ganze Batterie in einer einzigen Lage feuern zu lassen. Ob Zeit zu Korrekturen vorhanden ist, muß der Augenblick zeigen. Bei diesem Feuer und Ziel darf man gewiß noch auf die Wirkung von Sprengstücken und dann auf sichere Beschädigung der Lokomotive rechnen. Es dürfte dann wohl nicht zweifelhaft sein, daß selbst leichte Beschädigungen dem Zuge höchst verderblich werden können.

183. Anders ist es allerdings beim Beschießen von Schiffen. Dampfschiffe zeigen jetzt gewöhnlich ihre Bewegungsvorrichtungen nicht mehr, Panzerschiffe sind kaum für direkte Treffer auf kleinen Entfernungen durchdringlich und Holzschiffe fürchten eben so wenig das Anschlagen von Sprengstücken.*) Haben wir also nicht Aussicht, Schiffe mit direkten Treffern zu beschießen, so sollen wir lieber gar nicht schießen. Neben der Munitionsverschwendung dürfte es nicht gering anzuschlagen sein, daß Artillerie durch jeden Fehlschuß direkt den Muth des Feindes belebt. Ist es nun schon schwer, auf bedeutenden Entfernungen ein still liegendes Schiff zu verwunden, so sind wir um so mehr aufgefordert, ein sich bewegendes mit vollster Ueberlegung zu beschießen.

Die Geschwindigkeiten der Schiffe sind nicht sehr bedeutend, im Mittel der einer galoppirenden Kavallerie gleich, die Länge derselben, also die Zielbreite ist dagegen ziemlich groß, denn sie beträgt in der Regel für Korvetten, Fregatten und Linienschiffe 80 bis 120 Schritt. Nehmen wir an, das Schiff gehe von rechts nach links auf der Entfernung von 1000 Schritt, 2000 Schritt oder

*) Man überzeugt sich auch leicht davon, was ein Holzschiff aushalten kann, ehe es zum Sinken gebracht wird, wenn man die entsprechenden Beispiele aus wirklichen Seeschlachten liest. Das englische Linienschiff „Impregnable" lief 1816 nach dem Angriff von Algier mit 268 Kugellöchern (50 beinahe zwischen Wind und Wasser, 3—68Pge 6 Fuß unter der Wasserlinie) glücklich nach Gibraltar.

3000 Schritt. Die 24Ller Granate gebraucht etwa $2^1/_2$, 5 oder $7^1/_2$ Secunden. Während dieser Zeit wird das Schiff achtmal so viel Schritt zurücklegen, also 20 oder 40 oder 60 Schritt.

Wenn wir nun abfeuern, indem die Spitze des Schiffes in unsere Richtung tritt, welche mit der vorschriftsmäßigen Seitenverschiebung genommen ist, so wird bei richtig geschätzter Entfernung das Ziel mit Aussicht auf sicheres Treffen beschossen werden dürfen.

Bei der vorausgesetzten Bewegungsrichtung des Schiffes wird seine Geschwindigkeit durch die Deviation unserer Geschosse gewissermaßen vergrößert, indem die Deviation gerade nach der Seite stattfindet, wohin wir in Folge der Bewegung des Schiffes vorbeischießen können. Der Einfluß der Rechtsabweichung ist allerdings durch die Seitenverschiebung aufgehoben; sie kann aber durch die Witterungsverhältnisse leicht vergrößert werden, und deshalb ist es gerechtfertigt, bei großen Entfernungen also 2000 bis 3000 Schritt die Seitenverschiebung zu vergrößern um ein Maß, durch welches sie verdoppelt und selbst verdreifacht wird.

Geschieht dagegen die Bewegung des Schiffes von links nach rechts, so wird die relative Geschwindigkeit desselben verringert und man darf auf allen Entfernungen ohne Seitenverschiebung schießen.

184. Denken wir an die Kaliber der Küstenbatterien, so ergiebt sich bald, daß von einem Verfolgen des Schiffs durch Aenderung der Seitenrichtung gar nicht die Rede sein kann; denn so lange 24Ller und 72Ller und noch schwerere Geschütze nicht durch Maschinen bewegt werden, wird die Richtung gegen vorbeifahrende Schiffe sich nur auf das Nehmen der Erhöhung beschränken. Man hat also weiter nichts zu thun, als das Auge am Aufsatze auf das muthmaßliche Vorbeifahren zu warten, nachdem die Elevation für die voraussichtliche Entfernung und die Seitenverschiebung ohne seitliches Verrücken des Geschützes genommen sind, und dann in dem Momente zu feuern, wo das Schiff in unsere Richtung tritt.*) Es ergiebt sich hieraus, daß die Schiffe durch ihre Beweglichkeit einen großen Theil von dem als Gewinn einbringen, was sie durch ihre Unstätigkeit in Bezug auf Treffsicherheit verlieren.

Daraus ergeben sich auch einige Bedingungen, welche für Küstenbatterien zu erfüllen sein werden, wenn sie starken Gegnern

*) Sehr ausführlich bespricht Herr Hauptmann v. Teichmann-Logischen das Schießen aus Küsten-Batterien in „Anlage von Küsten-Batterien" (Berlin 1867, 2. Aufl.), namentlich auch das Messen der Entfernungen. Im Ernste werden leider die meisten Messungen nur Schätzungen sein, denn es handelt sich nie darum, beispielsweise einen Winkel von etwa 30 Minuten zu messen, sondern 30 M. von 31 M. zu unterscheiden.

unter allen Umständen gewachsen sein sollen: 1) schwere Kaliber mit so starken Ladungen, daß ein treffender Schuß großen Schaden anrichtet — darf man um die Haltbarkeit der Röhre nicht schwere Ladungen anwenden, so können die Küstenbatterien ihre Aufgabe nie mit Sicherheit erfüllen (unter starken Ladungen verstehen wir solche, welche bei voller Ausfüllung des Verbrennungsraumes mindestens 1/9 Granatschere besitzen), — 2) als bedeutendste die durch die sogenannte Patent-Laffete in Aussicht gestellte Bedienung durch Maschinen, und 3) die Verbindung der einzelnen Batterien durch elektrische Telegraphen.

Anhang:

I. Wir können es uns nicht versagen, folgende Schilderung aus einem Aufsatze des Herrn Hauptmann Sanders im Archiv, Band 55, „Artilleristische Aphorismen aus dem gegenwärtigen amerikanischen Kriege" im Auszuge wiederzugeben:

„Am 5. April 1863 erschien die Monitor-Flotte der Unirten auf der Rhede von Charleston. Sie bestand aus einer Panzer-Fregatte, 7 Monitors, einer großen Anzahl zum Theil hölzerner, zum Theil gepanzerter Kanonenboote und wurde vom Admiral Dupont befehligt. Dieser See-Expedition waren ca. 20 bis 25,000 Mann Landungstruppen unter General Hunter beigegeben. Man wollte in specie Fort Sumter zum Schweigen bringen. Demgemäß fuhren die 7 Monitors und die Panzer-Fregatte Ironsides, von denen jeder der ersteren zwei bis drei 11- bis 12zöllige Geschütze, die letztere aber 18 Geschütze führte, am 7. April Mittags auf Schußweite an das Fort Sumter heran und eröffneten hier einen Kampf, der in den Annalen der Kriegsgeschichte nicht seines Gleichen findet. Keine Schilderung vermag eine Vorstellung von der Heftigkeit des gegenseitigen Feuers und der Großartigkeit dieser Scene zu geben. Während der halben Stunde, in welcher die Monitors dem verderblichen Feuer ausgesetzt waren, zählte man in der Minute 60 bis 100 Schuß aus den 10- und 15zölligen Columbiaden und den schweren gezogenen Geschützen der Conföderirten, und in der That sind in der kurzen Zeit 3500 Schüsse auf die Schiffe abgefeuert worden. Der Versuch, bei den Forts vorbeizufahren, scheiterte an den Verrammlungen und mußte auch schon deshalb aufgegeben werden, weil die an denselben befindlichen Netze die Schiffsschrauben ihrer Beweglichkeit beraubten. Der kleine Monitor Koekuk, der trotz seiner nur 5¾ Zoll starken Platten bis auf 500 Yards an das Fort Sumter herangefahren war und dasselbe mit seinen 11zölligen Geschützen bearbeitete, mußte seine Ver-

wegenheit dadurch büßen, daß er von 90 Projektilen getroffen, mit 5 Löchern im Rumpf und durchschossenen Thürmen zu sinken begann. Die Monitors hatten nur 151 Schüsse verfeuert und im Revetement 11 Oeffnungen gebrochen. Die Ironsides (11zöllige Platten) war 60 bis 70 Mal getroffen worden, ohne jedoch starke Beschädigungen erlitten zu haben. (Alle Schiffe waren momentan unbrauchbar.) Als Ergebniß des Kampfes führen die Amerikaner Folgendes an:

1) Die Strand- und Uferbefestigungen, welche mit Geschützen neuester resp. gezogener Konstruktion armirt sind, sind den hölzernen, sowie den gepanzerten hölzernen Schiffen im stehenden Gefecht überlegen. Nur die nach dem System der Monitors solid von Eisen gebauten, mit mindestens 11zölligen Platten versehenen Schiffe werden ihnen auf die Dauer gewachsen sein.

2) Vertheidigen derartig armirte Werke und Batterien verrammelte Fluß- oder Hafeneingänge, so werden sie jede Schiffsgattung, selbst die Monitors, von der Forcirung der Passage abhalten können.

3) Ist die Passage nicht verrammelt, so können selbst die besten Ufer- resp. Strandbatterien den Panzerschiffen und den Monitors die Vorbeifahrt oder Einfahrt nicht verwehren.

4) 4, 5, 6 bis 9zöllige Panzer geben, wie das Schicksal des Koekuk beweist, keine genügende Sicherheit gegen 10- bis 15zöllige Geschosse aus gezogenen Geschützen."

Wie die Amerikaner die Armirung der Uferbefestigungen, welche den Panzerschiffen im stehenden Gefechte überlegen sind, auffassen, zeigt die obige Schilderung, wenn in einer halben Stunde der Koekuk von 90 Geschossen getroffen wurde.

II. Das Vollständigste, was bis jetzt über den Kampf der Schiffe untereinander oder mit Küstenbefestigungen erschienen, ist das meisterhaft redigirte Werk des Herrn Hauptmann Grabe: „Die Kriegführung an den Meeresküsten", (Berlin, 1865). Dieses Buch, zum großen Theile entstanden aus Uebersetzungen officieller Berichte und Denkschriften von Frankreich, England, Amerika, enthält die wichtigsten Thatsachen und Erfahrungen des Küstenkrieges, die Ansichten und Vorschläge der ersten Autoritäten der Welt, begleitet durch kritische Bemerkungen und eigene Erfahrungen eines seit dem Entstehen der gezogenen Geschütze mit ihnen vertrauten Artilleristen. Es bietet ein ausgedehntes Bild des Kampfes der abtretenden und der auftauchenden Leiter der Ideen und ist dadurch eine werthvolle Geschichte dieses Theiles der Kriegskunst von Paixhans bis nach der Kapitulation von Charleston.

b. Das Schießen von Shrapnels mit Zeitzündern.

185. Das Schießen von Shrapnels mit Zeitzündern ist immer als besonders künstlich angesehen worden wegen des Zusammenhanges von Entfernung, Sprenghöhe, Intervall, Aufsatz und Tempirung. Man hat sich gewöhnt, diese fünf Elemente als gewissermaßen durch eine mathematische Funktion mit der Wirkung des Schusses so eng verbunden zu denken, daß es jedem Feldartilleristen fast unmöglich sein würde, im Kampfe die verlangten Kombinationen anzustellen. Es liegt gewiß hierin ein Grund für das Mißtrauen, mit welchem diese nach unserer Meinung unentbehrliche Schußart belegt ist. Freilich darf man nicht aus der unvollkommenen Art der Beobachtung der Wirkung eines Schusses auf die Gesammtwirkung mehrerer Schüsse schließen. Es mag Anstoß erregen, wenn wir es aussprechen, aber wir glauben die Bemerkung gemacht zu haben, daß diejenigen Brigaden, welche bei ihren Versuchen am wenigsten ängstlich die Richtung und Tempirung geändert haben, die besten Gesammtresultate erzielten. Wir haben nämlich hier in erhöhtem Maße mit der natürlichen Streuung der Geschosse zu rechnen. Offenbar unterliegt die Flugbahn der Shrapnels vor dem Sprengpunkte denselben Gesetzen, wie die der nicht vor dem Aufschlage krepirenden Geschosse, d. h. bei der aufmerksamsten Bedienung würde das nicht gesprengte Geschoß nicht genau den Weg seines Vorgängers machen. Dazu tritt die eben so natürliche Verschiedenheit der Brennzeiten der Zünder. Für uns entwickelt sich daraus, daß es unsere Aufgabe ist, die Grenzen der hinreichenden Wirksamkeit zu bestimmen, ähnlich wie bei den Granaten, und innerhalb dieser Grenzen den Einfluß jeder Veränderung von Aufsatz und Tempirung zu beobachten. Wir sprechen vorläufig nicht von der Möglichkeit der Beobachtung, setzen vielmehr genaue Kenntniß der Entfernung und der Flugbahn voraus.

Würde das Shrapnel-Geschoß nicht in der Luft gesprengt, so müßte es das Ziel in derselben Weise treffen, wie die Granate; es müßte also und zwar wegen vielleicht größerer Gewichtsdifferenzen günstigsten Falls den für letztere gefundenen Trefffähigkeitsgrenzen unterliegen. Wir würden auch hier von einer mittleren und einer etwa viermal so großen totalen Streuung sprechen müssen. Daraus würden sich dieselben Korrekturregeln ergeben, wie für das Schießen von Granaten, d. h. der Aufsatz würde nur dann zu ändern sein, wenn Aussicht vorhanden ist, durch die Aenderung wirklich die ganze Treffergruppe zu verlegen. Jedenfalls sieht man, daß die Shrapnels naturgemäß eine Streuung geben, welche zwischen

100 bis 200 Schritt liegt. Das Geſchoß als ſolches erreicht aber das Ziel nicht; es wird in einem um das Intervall vor dem Ziele in der Flugbahn liegenden Punkte, welcher um die Sprenghöhe über dem Horizonte liegt, geſprengt. Denken wir die Zünder genau gleichmäßig, ſo wird nach der Theorie vom Schwenken der Bahnen das Intervall fortwährend gleich ſein. Wir können uns alſo an die bezügliche Stelle eine unbegrenzte Scheibe ſetzen, welche alle Sprengpunkte als Treffpunkte enthält. Sprechen wir beiſpielsweiſe vom Kolben-6Ner, ſo werden wir auf dieſer Scheibe auf 1000 Schritt Totalſtreuungen von mindeſtens 6,5 Fuß (4. 1,6), auf 2000 Schritt von 20 Fuß (4. 4,8), auf 3000 Schritt alſo gewiß von 50 bis 60 Fuß erhalten. Auf 1000 Schritt bewirkt $^1/_{16}$ Zoll Aufſatz eine Verlegung des Treffpunktes von 1,8 Fuß, auf 2000 Schritt von 3,7 Fuß, auf 3000 Schritt von 5,6 Fuß. Dieſe drei Zahlen ſind in den Streuungshöhen mehrmal enthalten d. h. von geringen Aufſatzveränderungen iſt wenig Erfolg zu erwarten. Sei auf 2000 Schritt die theoretiſch richtige Sprenghöhe etwa 24 Fuß, ſo wird nach der eben gegebenen Streuungshöhe der tiefſte Sprengpunkt noch 10 Fuß tiefer, alſo auf 14 Fuß Höhe liegen können, der höchſte etwa auf 34 bis 40 Fuß. Es iſt gewiß nicht zu erwarten, daß man auf der Entfernung von 2000 Schritt unterſcheiden könne, ob ein Sprengpunkt außerhalb dieſer Grenzen, 14 bis 40 Fuß Höhe, liege, wobei ja noch abſolut richtige Brennzeit vorausgeſetzt wurde. Noch weniger iſt eine ſolche Beobachtung auf noch größeren Entfernungen zu erwarten.

Daraus folgt für uns die Aufforderung, nach Möglichkeit uns von der Nothwendigkeit der genauen Kenntniß der Entfernungen und des Gebrauches des ſtreng richtigen Aufſatzes frei zu machen. Denn betrachten wir die Folgen der Höhenſtreuungen bei der noch feſtgehaltenen Vorausſetzung von der Richtigkeit der Tempirung. Dieſe Tempirung wurde beſtimmt für 80 Schritt Intervall; Intervall iſt aber nicht die Entfernung des Sprengpunktes vom Ende der Flugbahn, ſondern die für die Flugbahn durchaus gleichgültige Entfernung dieſes Punktes vom Ziele.

186. Die Theilchen des Shrapnels, Sprengſtücke und Bleikugeln, breiten ſich nach der Sprengung aus in Folge theils der Sprengladung theils der Rotation, und bilden den Streuungskegel, deſſen oberſte und unterſte Linie nach der gebräuchlichen Annahme einen Winkel von etwa 20° bilden. Seien dieſe Linien (Figur 97) a b und a c, während a d das Endſtück der Flugbahn bezeichnen möge. Die mittleren Entfernungen geben Einfallwinkel von 6 Grad, und dieſer Winkel würde bei 80 Schritt Intervall nach der Winkel-

Fig. 97.

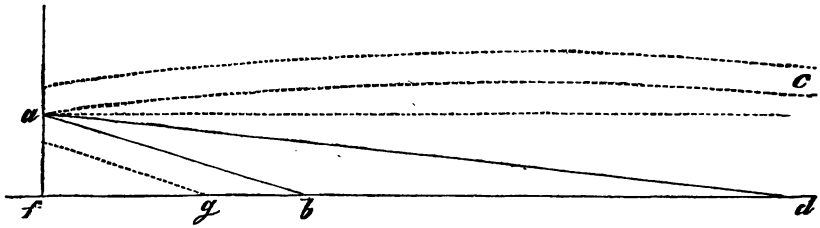


tabelle eine Sprenghöhe von ungefähr 20 Fuß erfordern. Ist nun nach der Figur der Winkel a d f = 6 Grad und b a d = 10 Grad (der halbe Kegelwinkel), so wird a b f etwa $10^0 + 6^0 = 16$ Grad. (Betrachtet man a d als gerade, so kann das auch mit der steileren a b geschehen.) Der Höhe von 20 Fuß und dem Winkel 16 Grad entspricht eine Länge von etwa 30 Schritt, d. h. die am kürzesten gehenden Kugeln werden ungefähr 80—30 also 50 Schritt vor dem Ziele aufschlagen. Die Linie a c darf man offenbar nicht als grade ansehen, weil sie dann den Boden nie erreichen würde. Um sich eine Vorstellung von ihrer Form zu machen, müßte man den letzten Theil der normalen Bahn durch die für die Zeichnung von Flugbahnen oben gegebenen Mittel darstellen, und dann oberhalb desselben vielleicht den Entfernungen proportional für einen Winkel von 10 Grad die Höhen der äußersten Streuungslinie auftragen*), was natürlich ein unvollkommenes Mittel ist.

Auf diese Weise würde sich die Grenze des Kegels etwa 300 bis 350 Schritt**) über den Zielpunkt hinaus erstrecken. Es sind leider keine Versuche angestellt, welche diese Ausdehnungen genauer bestimmen: sie ließen sich vielleicht ausführen durch ein Schießen über eine frisch befrorene Schneedecke, wobei man auch deutlich sehen würde, ob der Kegel hohl ist. Verbinden wir mit dieser Vorstellung die von der Streuung der Sprengpunkte auf der sie enthaltenden Scheibe, und zwar wollen wir annehmen, diese Streuung betrage im Mittel etwa ± 10 Fuß; dem vorhin gefundenen Winkel von 10 Grad entspricht für 10 Fuß eine Länge von 15 Schritt, d. h. die am kürzesten gehenden Kugeln fallen statt 50 Schritt jetzt etwa

*) Eigentlich müßte man die Flugbahn einer Kugel zeichnen, deren Elevation 4 Grad (10^0—6^0) und deren Anfangsgeschwindigkeit ungefähr gleich der Endgeschwindigkeit des Shrapnels sein würden.

**) Man erhält bei solchen Intervallen noch Treffer, allerdings fast wirkungslose.

65 Schritt vor dem Ziele; ebenso unbedeutend wird die Veränderung des weitesten Aufschlages sein.

187. Hierin liegt, daß es bei richtiger Tempirung von sehr geringem Einflusse ist, ob man den absolut richtigen Aufsatz hat oder nicht. Der Aufsatz kann aber doch zu gering sein d. h. man kann Gefahr laufen unter den Schüssen solche zu erhalten, welche vor der Sprengung aufschlagen, welche also als Shrapnels gar nicht zur Wirkung kommen. Das ist der Fall, welcher immer zu vermeiden ist, und deshalb giebt der eben entwickelte Satz die Aufforderung: Ist die Entfernung des Zieles bekannt, so darf der für dieselbe vorgeschriebene Aufsatz niemals verkleinert werden.*) (Es wird nämlich vorläufig richtiges Intervall vorausgesetzt.)

188. Um auch den Einfluß der Brennzeiten beurtheilen zu können, wollen wir die Herstellung von Shrapnel-Schußtafeln einschalten. Der Aufsatz oder die Elevation wird wie bei Granaten durch nicht zum Sprengen geladene Geschosse ermittelt; es ist aber erklärlich, daß man nicht von vorn herein mit richtiger Tempirung schießen kann. Man könnte allerdings die Flugzeit genau berechnen und danach den Zünder tempiren. Das ist aber nicht einmal nöthig, um doch eine genaue Skala zu erhalten. Für verschieden schwere Geschosse verhalten sich die Flugzeiten auf gleichen Entfernungen wie die Quadratwurzeln der Gewichte. Man kennt die Flugzeiten der Granaten, also daraus die der Shrapnels für gleiche Ladungen annähernd genug. Außerdem verhalten sich die Flugzeiten nahehin wie die Entfernungen. Hiernach bestimmt man die Tempirungen oberflächlich, und schießt nach bestimmten Zielen auf Entfernungen von etwa 600, 1200, 1900, 2400, 3000 Schritt. Ganz unbekümmert um die Wirkung erkennt man aus dem jedesmaligen Intervall jedenfalls die Entfernung vom Geschützstande bis zum Sprengpunkte z. B. beim 24Pder finde man für eine Scheibe

auf	600	Schritt	bei	$1\frac{5}{8}$	Sek.	Tempirung	das Intervall 100 Schritt
	1200	„	„	$3\frac{5}{8}$	„	„	„ 50 „
	1800	„	„	$5\frac{4}{8}$	„	„	„ 100 „
	2400	„	„	$8\frac{2}{8}$	„	„	„ min. 50 „

*) Durch bloße Aufsatzveränderung wird das Intervall nicht geändert; denken wir bei 2000 Schritt = 4800 Fuß Abciſſe eine Ordinate von 40 Fuß, so wird die verbindende Hypothenuse $= \sqrt{4800^2 + 40^2} = 4800{,}1$ Fuß.

Daraus sieht man, daß für $1\frac{5}{8}$ Sek. die Brennweite 490 Schritt
„ $3\frac{5}{8}$ „ „ „ 1150 „
„ $5\frac{4}{8}$ „ „ „ 1700 „
„ $8\frac{2}{8}$ „ „ „ 2450 „
beträgt. (Mit minus bezeichnet man nämlich das Intervall, welches bei einem Zuweit hinter dem Ziele liegt.)

Die Zeit- und Entfernungszahlen werden als Abciſſen und Ordinaten auf einen Gitterbogen getragen, und die bezeichneten Punkte werden durch eine Kurve verbunden, welche jetzt für jede beliebige Entfernung die Brennzeit ergiebt, folglich auch für jede Zielentfernung weniger 80 Schritt (das erfahrungsmäßig für die Kugelausbreitung günſtigſte Intervall). Es iſt natürlich, daß dem Intervall von 80 Schritt nicht immer genau eine Achtel-Sekunde entſpricht. Man wählt nun das nächſtliegende Achtel, und erhält dadurch einen Grund, daß ſelbſt das theoretiſche Intervall nicht immer genau 80 Schritt beträgt. Streng genommen müßte in der Schußtafel neben jeder beſonderen Tempirung ein beſonderes Intervall geſetzt werden. Die Beſtimmung der Sprenghöhe geſchieht dadurch, daß man ſich die Flugbahn gezeichnet denkt und die Ordinate des 80 Schritt kürzer liegenden Punktes beſtimmt. Das geſchieht ſehr bequem, wenn man aus der Erhöhungs- oder Aufſatzkurve die 80 Schritt entſprechende Aufſatzdifferenz durch bloßes Ableſen ermittelt und dadurch, wie früher gezeigt, die Ordinate berechnet. Wir haben in der Schußtafel ſelbſt alſo einen geringen Grund für das Abweichen des Intervalls von 80 Schritt. Die Brennzeiten oder vielmehr die in gleichen Zeiten verzehrten Theile der Zünderſatzſäule ſind aber auch nicht genau gleich. Es kommen Intervallverſchiedenheiten bis zu 100 Schritt vor und in wenigen Fällen auch noch darüber. Zu der Streuung der Geſchoſſe auf einer vertikalen Scheibe geſellt ſich alſo die Streuung der Sprengpunkte nach der Längenrichtung, jedoch beide von einander unabhängig.

189. Es fragt ſich nun, ob der vorhin für die Aufſatzbehandlung entwickelte Satz jetzt zu verändern iſt? Es handelte ſich darum, man dürfe den vorgeſchriebenen Aufſatz nicht verkleinern. Denken wir uns die niedrigſt gehende Bahn und darin zunächſt ein ſehr kurzes Intervall, d. h. einen Sprengpunkt, welcher noch hinter unſerer gedachten Scheibe liegt, ſo wird gewiß die Gefahr vorhanden ſein, daß das Geſchoß den Erdboden vor der Sprengung erreicht, alſo verloren geht. Denken wir aber ein ſehr großes Intervall, ſo werden die über die mittlere Bahn ſich erhebenden Kugeln das Ziel unzweifelhaft in großer Zahl errreichen und der niedrigſt gehende Schuß würde von dem höchſt gehenden ſich nur dadurch

unterscheiden, daß die unter der mittleren Bahn sich befindenden Kugeln bei dem ersteren einige Schritte früher aufschlagen.

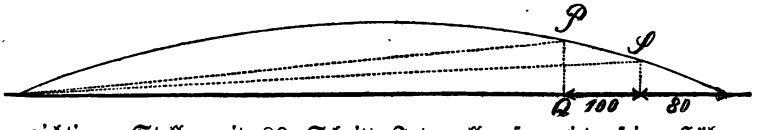
Hiernach glauben wir uns zu folgendem Schlusse berechtigt:

Ist die Zielentfernung bekannt, so korrigirt man im Allgemeinen gar nicht oder, wenn nöthig, nicht anders als durch Vergrößerung des Aufsatzes und Verringerung der Tempirung.

190. Die weit wichtigere Frage betrifft die Behandlung des Shrapnelschusses im Ernstgebrauch. Die Beobachtung des Sprengpunktes ist beim Schießen aus Festungsgeschützen, wo der Offizier die Entfernungen kennen muß, wohl möglich: das ist aber im Felde gewiß nie der Fall. Es ist darum zu besprechen, wie man sich zu verhalten habe, wenn man die Entfernung ungefähr kennt, denn ganz ohne Anhalt ist jedes Schießen aus Geschützen, wenn es nicht absichtlich des Donners wegen geschieht, Verschwendung von Munition. Andererseits ist es bekannt, wie schwer die Beurtheilung der Entfernung schon beim Granatschießen ist, wo doch eine viel größere Rauchwolke entsteht, als beim Shrapnelschusse. Es ist Vorschrift, vor der Anwendung der Shrapnels sich mit Granaten einzuschießen. Wir wollen also voraussetzen, die Entfernung sei uns bis auf Schätzungsfehler von etwa 100 Schritt bekannt. Es scheint übrigens zweifelhaft, ob man auf großen Entfernungen unterscheiden kann, ob ein sehr hochliegender Sprengpunkt vor oder hinter dem Ziele liege. Im letzteren Falle hat der ganze Schuß seinen Zweck unbedingt verfehlt. Würde man jetzt den Aufsatz erniedrigen? Unbedingt darf dies nicht sofort geschehen, da die zu große Entfernung nicht allein durch den Aufsatz bedingt, sondern durch eine zu lange Tempirung erreicht wird.

Wenn wir zuerst also die Tempirung verkürzen würden, so würde der Sprengpunkt in der Bahn rückwärts also auch aufwärts gehen. Wir wollen untersuchen, wie viel in einem besonderen Falle diese Erhöhung des Sprengpunktes beträgt. Denken wir uns den Sprengpunkt S der Bahn von 2000 Schritt (Fig. 98) an seiner

Fig. 98.



richtigen Stelle mit 80 Schritt Intervall, so wird seine Höhe beim 6Ader mit 1,4 ℔ 21 Fuß betragen. Verkürzen wir jetzt die Tempirung um 100 Schritt, so erhalten wir den Punkt P, welchem

eine Ordinate P Q der Hauptbahn entspricht, die aus der Aufsatzdifferenz 2 $11\frac{1}{2}$—$26\frac{1}{2}$ = $\frac{5}{16}$ Zoll auf der Entfernung 1820 Schritt gleich 5. 7,1 = 35 Fuß, $14\frac{1}{2}$ Fuß höher als S gefunden wird. Ein Höhenunterschied von 14 Fuß verlegt den Aufschlag der am weitesten gehenden Kugeln um wenige Schritte; das Resultat wird deshalb fast ganz dasselbe sein, als wäre mit der Verkürzung der Tempirung auch die Höhe des Sprengpunktes durch Verkleinerung des Aufsatzes verringert worden. Wir leiten so auch den Satz ab: Kennt man die Entfernung ungefähr, so ändert man den Aufsatz höchstens nach aufwärts, die Tempirung aber darf verkürzt oder verlängert werden, wenn im letzteren Falle nicht ein Aufschlag vor dem Krepiren oder ein Ueberschießen des Feindes zu besorgen ist. Es fragt sich nun, in welchen Grenzen dies geschehen kann.

191. Wenn man die Entfernung gar nicht kennt, so ist es durch die im Allgemeinen immer nur geringe Shrapnel-Ausrüstung schon geboten, diese Schußart ganz zu vermeiden, bevor man durch andere Mittel sich orientirt hat. Es kann nun der Fall eintreten, daß durch unsere eigene oder durch die Bewegung des Feindes die Entfernung geändert wird. Wir würden dann vorschlagen, Korrekturen nicht unter 100 Schritt anzuwenden; und es ist Satz festzuhalten: Bei Aenderung der Entfernungen gehören Aufsatz und Tempirung der Schußtafel stets nothwendig zusammen.

Für die vielen besonderen Verhältnisse eines Krieges lassen sich natürlich nicht alle Detailbestimmungen vorher so machen, daß sie immer unbedingt richtig sein müßten. Wir haben uns z. B. nur auf die Beobachtung vom Geschützstande bezogen, warum sollte es aber in einzelnen Fällen nicht möglich sein, das Intervall seitlich zu beobachten? Unter solchen Umständen wird man sich ja leicht über die Nothwendigkeit einer Korrektur nach dieser oder jener Richtung ins Klare bringen können. Die Schußtafeln ergeben dann, daß $\frac{1}{8}$ Sekunde Tempirung mehr den Sprengpunkt durchschnittlich 30 bis 40 Schritt vorwärts bringt oder das Intervall verkürzt und umgekehrt. Die vom Aufsatze unabhängigen Tempirungsänderungen können sich also um $\frac{1}{8}$ Sekunden auf- oder abwärts bewegen. Macht man aber Aenderungen von $\frac{2}{8}$ Sekunden, so ist das ein wirkliches Verändern der Entfernung, auf welche man schießen will, und es ist deshalb erforderlich, auch den entsprechenden Aufsatz anzuwenden, wobei wir jedoch wieder darauf hinweisen, daß man bei Verkürzungen den Sprengpunkt vortheilhafter hoch läßt, als ihn zu sehr erniedrigt. Ist nun eine seitliche Beobachtung auch möglich und dadurch zugleich

die Möglichkeit von Korrekturen gegeben, so will es für das allgemeinere Bild aber scheinen, als wäre es wichtiger, sich eine Vorstellung für die Beobachtung vom Geschützstande aus zu machen und diejenigen Fälle der Besprechung zu unterwerfen, welche für diese Beobachtung wenig Aussicht versprechen, wie wir es hier gethan haben. Diese Fälle zwingen eben, möglichst wenig zu korrigiren.

Das Vorstehende bezieht sich wesentlich auf den Gebrauch der Artillerie im Felde. Wenn es im Festungskriege um ein direktes Beschießen des Belagerers oder andererseits der Ausfalltruppen sich handelt, so ist kein Grund sichtbar, weshalb diese Schußart viel penibler zu behandeln sein sollte, als im Felde; man wird nur die Entfernungen sicherer kennen und deshalb noch weniger zu Korrekturen aufgefordert sein.

192. Andere Rücksichten erfordert aber der indirekte Schuß, für welchen es kein Intervall giebt. Das Geschoß soll senkrecht über der inneren Krete der deckenden Brustwehr krepiren und zwar in der Höhe von 6 Fuß. Die Schußtafeln sind deshalb so eingerichtet, daß der Endpunkt der Bahn in der Krete liegend angenommen und dann um 6 Fuß aufwärts geschwenkt wird; der Sprengpunkt soll dann genau mit dem Endpunkte dieser Bahn zusammenfallen. Wenn also beispielsweise für den direkten Schuß 2000 Schritt beim 24Ter einen Aufsatz von $12^3/_{16}$ Zoll verlangen, so gehört derselbe Aufsatz zu der Entfernung der deckenden Brustwehr vom Geschützstande gleich 2000 Schritt. Der Endpunkt soll aber um 6 Fuß gehoben werden, und da $^1/_{16}$ Zoll auf 2000 Schritt eine Veränderung von 2,6 Fuß hervorbringt, so ist der Aufsatz um $\frac{6}{2{,}6} = 2$ Sechzehntel zu vermehren — was in der Schußtafel schon geschehen ist. Bei derselben Entfernung verlangt der direkte Schuß $6^2/_8$ Sekunden Tempirung für 80 Schritt Intervall. Da $^1/_8$ Sekunde den Sprengpunkt durchschnittlich 30 bis 40 Schritt verlegt, so wird die Tempirung des indirekten Schusses um $\frac{80}{40} = 2$ Achtel Sekunden durchschnittlich vergrößert — was ebenfalls in der Schußtafel schon ausgeführt ist.

Die Grenzen für die Wirksamkeit des indirekten Schusses bestimmen sich offenbar dadurch, daß man möglichst nahe hinter die Brustwehr, aber nie davor treffen will. Das versteht sich aber von selbst, daß es nicht möglich sein wird, den Sprengpunkt absolut über der Krete zu legen. Das Krepiren wird also vor oder hinter derselben geschehen (diese Ausdrücke auf die Richtung vom Geschütze

aus bezogen). Liegt der Sprengpunkt hinter der Krete, so hat man eigentlich das Ziel wirkungslos überschossen und darf neben dem zufälligen Treffen rückwärts stehender Truppen nicht auf die Erreichung des nächsten Zweckes rechnen.

Liegt dagegen der Sprengpunkt vor der Brustwehr, so ist entweder der Schuß günstig, wenn die Sprengung hoch genug geschah, oder er bringt einen bedeutenden Theil der Streupartikel in die Brustwehr selbst und ist dann verloren. Es ergiebt sich daraus die schon oben gefundene Regel: Auch beim indirekten Shrapnelschusse, wo die Entfernung bekannt ist, hüte man sich vor Korrekturen, welche die Tempirung verlängern und den Sprengpunkt zu tief legen, oder: Ist die Entfernung bekannt, so wird der Aufsatz nur aufwärts, die Tempirung nur rückwärts geändert.

Aus dem Vorgetragenen scheint man schließen zu dürfen, daß, obgleich die Sekundentempirung die allein naturgemäße ist, eine Tempirung auf Entfernung für die Praxis vollkommen hinreichend ist. Weniger scheint dies der Fall zu sein bei der Aufsatztempirung, weil man durch die dann bedingungslose Zusammengehörigkeit von Aufsatz und Tempirung das Korrekturmittel für die Sprenghöhe aus der Hand giebt. Gesetzt, das Geschoß schlage vor dem Krepiren auf und man kommandire mehr Aufsatz, dann wird der Kanonier auch mehr Tempirung nehmen, und die Folge ist wahrscheinlich, daß der Schuß wieder in den Sand geht.

193. Wir haben bisher nur die Gestaltung des Shrapnelschusses im Auge gehabt, ohne von der Kraft der einzelnen Partikel zu sprechen. Im Momente des Krepirens wird jeder einzelne Theil ungefähr die Geschwindigkeit des ganzen Geschosses haben, und diejenigen Kugeln und Eisenstücke, welche bald die Erde erreichen, besitzen nach allen Versuchen eine solche Kraft, jeden getroffenen Mann unbedingt außer Gefecht zu setzen.

Das findet auch noch bei denen statt, welche 200 Schritt weiter gehen — ob es aber bei den noch weiter gehenden der Fall ist, dürfte nach Kriegserfahrungen fraglich sein.*) Die am weitesten gehenden Partikel verlieren also an lebendiger Kraft in einem solchen Maße, daß wir auf ihre Wirksamkeit nicht viel zu rechnen haben. Wäre das nicht der Fall, so würde es am bequemsten sein, ganz

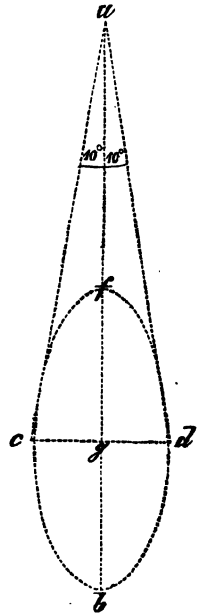
*) In Oesterreich verlangt man vorschriftsmäßig immer Intervalls von wenigen Schritten, schießt also stets mit zu langer Tempirung und zwar meist zu hoch, weil man doch den Sprengpunkt vom Geschütze aus sehen will. Wirkliche Treffer können nicht besonders mehr wirken als Granaten.

unbekümmert um die Größe des Intervalls den Feind zu überschütten. Dieser Grund zwingt uns aber, das Intervall bis höchstens 200 Schritt wachsen zu lassen, obgleich bei noch größerer Entfernung des Sprengpunktes noch eine große Zahl von Kugeln das Ziel erreicht.

Wird aber eine Batterie angegriffen, so kann es keine wirksamere Vertheidigung als die durch Shrapnels geben, und zwar würden wir vorschlagen: Man vergeude das Shrapnel nicht auf zu großen Entfernungen, sondern beschieße bis auf Infanterieschußweite, also etwa 700 bis 800 Schritt, den anrückenden Feind mit Granaten, dann aber mit feststehendem Aufsatze von 2 Zoll bei der langen, 1 Zoll bei der kurzen Visirlinie und mit der Tempirung einer Sekunde.

Diese Zahlen entsprechen der Entfernung von 500 Schritt und die Sprengstücke werden den Angreifer unfehlbar in Verwirrung bringen. Auch bei größerer Nähe braucht man den Aufsatz nicht zu ändern, aber man wendet die Kartätschtempirung an.

Fig. 99.



194. Hierbei haben wir noch einen Blick zu werfen auf die seitliche Ausbreitung der Sprengpartikeln. Ist der Kegelwinkel 20 Grad und denken wir in Figur 99 die horizontale Projektion der normalen Flugbahn, so werden a c und a d die Wege der am meisten rechts und links gehenden Kugeln bezeichnen, und die gezeichnete Kurve wird ungefähr die Form der getroffenen Erdoberfläche sein, (allerdings länger gestreckt). Sei die Länge dieser Kurve etwa 300 Schritt, so werden c und d ungefähr auf der Mitte derselben liegen, und da bei normaler Sprenghöhe der Punkt f etwa 50 Schritt von a liegt, so dürfen wir die Entfernung des Sprengpunktes von der größten seitlichen Ausbreitung zu 200 Schritt annehmen. Die Winkeltabelle giebt dann für c g die Länge 86 Fuß (aus den Bestimmungen 100 Schritt und 10 Grad), die Länge c d also $2 \cdot 86 = 172$ Fuß oder $\frac{172}{2{,}4} = 72$ Schritt. Es ergiebt sich daraus, daß bei jeder Aufstellung einer Batterie nach der Breite jeder Punkt vor der-

selben durch das Feuer aller Geschütze in vollstem Maße bestrichen ist.

195. Was nun die Kartätschen selbst anbetrifft, so wird die Wirkung derselben aus gezogenen Geschützen für nicht bedeutend angesehen. Das ist auch richtig, aber es scheint uns, als ob der Grund dafür in dem nicht richtigen Ladungsverhältnisse liege. Für Kartätschen giebt es offenbar keine Züge, sondern es ist auch für sie gleichgültig, ob Vorderlader, ob Hinterlader. Der glatte 6Ter erhielt für die unmittelbar aufgesetzte Kartätsche 1,9 ℔ (2 ℔) Ladung, der gezogene bekommt für die an die Züge geschobene 1,2 ℔. Die Kartätschbüchse wird im Rohre zertrümmert, und das Pulvergas überholt die Kugeln und geht zwischen denselben hindurch und zwar um so wirkungsloser, je geringer seine Masse ist. Das Resultat ist, daß die Kugeln zu geringe Geschwindigkeit erhalten, da der Widerstand der Büchse ja nicht zu vergleichen ist mit dem der Granate im Uebergangskonus. Es scheint uns, als ob wir eine ausreichende Kartätschwirkung erhalten würden, wenn wir das Geschoß ganz in die Züge schieben und ihm eine doppelte Ladung von 2,4 ℔ geben würden, ohne Schaden für das Rohr befürchten zu müssen. Kann dieses die Granate mit 1,2 ℔ ertragen, so wird es sicher die schon vor dem Uebergangskonus liegende Kartätschbüchse mit 2,4 ℔ aushalten. Ein solcher Kartätschschuß würde die Batterie vor einem Angriffe zu schützen im Stande sein, und selbst auf Entfernungen, durch welche sie sich dem wirksamen Infanteriefeuer entziehen könnte.*)

Anhang.

I. Die wissenschaftliche Erörterung verlangt auch die Berücksichtigung der Unterschiede in den Geschoßgeschwindigkeiten. Nach den in der Note zu Nr. 101 gegebenen Belgischen Versuchen war der größte Unterschied der Anfangsgeschwindigkeiten beim eisernen 12Ter 20 Fuß. Die Anfangsgeschwindigkeit war im Mittel 952,5 Fuß, wofür wir wie in unseren Tabellen 950 Fuß setzen wollen. Die Endgeschwindigkeit ist auf 1000 Schritt — 877,5 Fuß, auf 1500 Schritt 847,5 Fuß, auf 2000 Schritt 819,5 Fuß. Dies giebt folgende entsprechenden Mittelgeschwindigkeiten: 914,899 und 885, woraus die Flugzeiten nahe richtig folgen: 1000 Schritt — 2,63 Sekunden, 1500 Schritt — 4,00 Sekunden, 2000 Schritt — 5,42 Sekunden. Sei die Anfangsgeschwindigkeit jetzt um 20 Fuß

*) Ueber die Wirkung der Feldartillerie lese man den höchst interessanten Vortrag des Herrn Oberstlieutenant Bröcker: „Erinnerungen an die Thätigkeit der 11. Infanterie-Division und ihrer Artillerie während des Feldzuges 1866." Archiv, 61. Band.

kleiner, alſo 930 Fuß, ſo werden die Mittelgeſchwindigkeiten: 894,879 und 865 Fuß, und die Flugzeiten: 2,71 Sekunden 4,10 Sekunden und 5,55 Sekunden. Die Unterſchiede ſind dann 0,08, 0,10 und 0,13 Secunden, alſo jedesmal etwa $^1/_{40}$ der ganzen Flugzeit, d. h. in Entfernung alſo etwa 25, $37^1/_2$ und 50 Schritt. In dieſen Angaben liegen auch noch die unvermeidlichen Beobachtungsfehler beim Meſſen der Geſchwindigkeiten.

Die Beobachtungen der Zünderbrennzeiten zeigen Abweichungen, welche dieſen obigen theils gleich ſind, theils ſie übertreffen. Beide Urſachen für die Abweichungen in der Lage des Sprengpunktes ſind ſolche, die wir gar nicht in der Gewalt haben, die innerhalb ihrer Grenzen alſo für uns unbeſtimmt ſchwanken. Die hieraus folgenden Streuungen gehören ſomit in die Kategorie der Geſchoßſtreuungen überhaupt, und ſie lehren, daß man die Tempirung nur in einem ſolchen Grade ändern darf, wo man Hoffnung hat, die ganze Gruppe der Sprengpunkte wirklich zu verlegen. Dazu gehören aber Aenderungen von mindeſtens $^2/_3$ Sekunden, woraus ſich ergiebt, daß die kleineren Korrekturen ebenſo wie beim Aufſatze für die Praxis ohne alle Bedeutung ſind.

II. Unſere Granaten können auch als Brandgeſchoſſe verwendet werden, indem ſie mit Brandröhren gefüllt werden. Die Gewichtsverhältniſſe werden dadurch nur wenig verändert, weshalb die Geſchoſſe in dieſem Falle grade wie Sprenggranaten zu behandeln ſind. Die Brandwirkung iſt durchaus ſicher, wie die Erfahrungen von Sonderburg und Joſephsſtadt gezeigt haben.

o. Einiges über das Meſſen und Schätzen von Entfernungen.

196. Eine Theorie der Entfernungsmeſſer zu geben, liegt nicht in unſerer Abſicht, ſondern wir wollen von den Mitteln ſprechen, welche das Geſchütz ſelbſt bietet, da es ſich vorzüglich um die Beſtimmung der Entfernungen im Felde handelt. Für die gezogenen Geſchütze wäre die Konſtruktion eines handlichen, ſchnell arbeitenden Diſtance-Meſſers inſofern von beſonderer Wichtigkeit, als wir auf Entfernungen ſchießen können und wirklich ſchießen, welche ſich der bloßen Schätzung durch das Auge entziehen. Uebrigens iſt die eigentliche Bedeutung eines Feld-Diſtancemeſſers nicht in der abſoluten Korrektheit zu ſuchen, inſofern wir ſowohl auf die tägliche Abweichung von der Schußtafel, als auf die natürliche Streuung der Geſchoſſe zu rechnen haben. Ein Inſtrument, welches bis 2000 Schritt auf 100 Schritt und weiter hinaus auf 150 bis 200 Schritt genau arbeitete, würde unſern Bedürfniſſen vollkommen

genügen, weil es immer schon hinreichen würde, vor Schätzungsfehlern zu schützen, wie sie in Wirklichkeit vorkommen. Kann man nämlich auf großen Entfernungen nicht in Folge der Beobachtung der Sprengung der Granaten korrigiren, so ist auch die genaueste Messung überflüssig, weil man ja doch über die Wirkung im Unklaren bleibt — es würde höchstens von Bedeutung sein, wenn das Schießen nur den Zweck hat, den Feind zu beunruhigen, z. B. während der Dunkelheit. Obgleich man, wie die Erfahrung gezeigt hat, auf die Beobachtung der Geschoßaufschläge nicht zu großen Werth legen darf, so bleibt diese doch unser einziges Schätzungsmittel. Es hat sich nämlich gezeigt, daß der Pulverrauch einer uns beschießenden Batterie dieselbe so einhüllt, daß man das eigene Sprengfeuer nicht mehr erkennen kann. In derselben Lage ist aber auch die feindliche Batterie. Ein anderes Hinderniß liegt darin, daß man die einzelne Granate, also auch ihre Sprengung, wegen der großen Zahl gleichzeitig einschlagender nicht unterscheiden kann. Es fehlt dem Verfasser allerdings die persönliche Kriegserfahrung, aber es dürfte sich doch bewahrheiten, daß jenes Hinderniß ein Mangel ist, der durch einen artilleristischen Fehler herbeigeführt wird. Dieser Fehler begründet sich in der Unterlassung von Probeschüssen und in der vielleicht sehr erklärlichen Ungeduld nach Schnellfeuer. Trotz entgegenstehenden Ansichten ist es zu wiederholen: Der Schuß, welcher nicht gut gerichtet war, ist für uns verloren. Ist unsere Wirkung von einem einzigen Schusse abhängig, dann ist entweder die allgemeine Wirkung sehr schwach, oder wir sind um so mehr aufgefordert, besonnen zu chargiren.

Es ist unzweifelhaft der oberste Grundsatz einer guten Artillerie: Der Werth eines Geschützes liegt nicht in der Möglichkeit, jede Entfernung zu erreichen, sondern in dem Gehorsam, mit welchem es einer Korrektur folgt. Hindert uns der Pulverrauch oder die Zahl der gleichzeitig krepirenden Granaten, die Aufschläge zu beobachten, so müssen wir, um das Terrain zu erkennen, absichtlich Fehlschüsse thun, um die daraus folgenden Erfahrungen für Treffschüsse benutzen zu können.

197. Jeder besondere Fall verlangt natürlich besondere Ueberlegungen; das allgemeine Bild ließe sich aber wohl in folgender Weise zusammenfassen: Kennt man die Entfernung genau, dann benutze man sie. Kennt man sie aber ungefähr, so ist zuerst so langsam zu feuern, daß jedes folgende Geschütz wirklich die Wirkung der vorhergehenden beobachten kann. Hierbei bedenke man, daß es sich gar nicht darum handeln kann, unbedingt die ersten Schüsse ins Ziel zu bringen, sondern daß die nächste Aufgabe Terrainkenntniß

iſt. Grade hierin ſuchen wir den Werth der von uns veröffentlichten Gedächtnißregeln für gezogene Feldgeſchütze; denn es kommt nicht allein darauf an, ob auf das Kommando: 1700 Schritt! der Kanonier 5 Zoll oder $5^{2}/_{16}$ Zoll beim Kolben-6Äder nehme, ſondern daß er weiß, 5 Zoll geben 1700 Schritt, und daß er den Werth davon kennt, ſelbſt bei einem Fehlſchuſſe genau gerichtet zu haben. Iſt man über die Entfernung ganz im Unklaren, ſo hüte man ſich durchaus vor Maſſenfeuer (einige hundert Granaten ſind bald verſchoſſen ohne gewirkt zu haben, während ſie eine Armee auflöſen könnten) — dagegen gebe man eine ganze Lage hindurch (und ſelbſt mehrere, wenn nöthig) Schuß um Schuß mit recht merklich verſchiedenen Aufſätzen, um nach den Sätzen der Trefffähigkeitslehre recht deutlich getrennt die Entfernungen einzelner Terrainpunkte feſtzuſtellen. Hat man ſich orientirt und darf auf gute Wirkung hoffen, ſo kann das Feuer ſo ſchnell werden, wie es eine geübte ſichere Bedienung geſtattet. Der größte Fehler im Kampfe iſt bekanntlich unbekümmerte Sicherheit, d. h. in unſerem Falle das Feſthalten an dem Glauben, man treffe nun wirklich mit jedem Schuſſe. Zunächſt iſt ja zu bedenken, daß im Feldkriege die Situationen fortwährend wechſeln, und dann, daß man ſich dennoch täuſchen könne, da das nun eingetretene Maſſenfeuer eben die Beobachtung verhindert. So ſcheint es denn geboten, daß der Kommandeur einen Diſtancemeſſer fortwährend in der Hand behalte, nämlich: Ein Geſchütz werde benutzt jeden Moment eine Granate als Beobachter ſenden zu können, um durch einen zu geringen oder durch einen zu großen, aber immer ſicher gekannten Aufſatz einen Sprengpunkt zu erhalten, welcher deutlich getrennt liegt von der allgemeinen Gruppe. (Der Probeſchuß iſt nie ein verlorener.)

198. Sollte dieſe entwickelte Anſicht von den hohen Behörden der Artillerie Beachtung verdienen, ſo kommen wir dann zu einem Vorſchlage, welcher vielleicht von Wichtigkeit ſein könnte: Man benutze das erſte Geſchütz gewiſſermaßen als die Haubitze der Batterie, um ſie mit der großen Hülfsladung jeden Augenblick im hohen Bogen werfen laſſen zu können und durch ſie das Terrain einzutheilen. Die Geſchwindigkeit der Granaten iſt dann ſo gering und die Bahn ſo von denen der andern Geſchütze verſchieden (aber noch nicht unmäßig hoch), daß man vom Geſchützſtande aus bis zum Aufſchlag das Geſchoß mit bloßem Auge verfolgen kann. Hierbei vermeide man die Möglichkeit, den Quadranten falſch zu ſtellen, indem man nur ganze oder halbe Grade benutzt. Die Feldgeſchütze würden dann folgendes Täfelchen verlangen:

Erhöhung Grad	Entfernung Kolben-6℔der 0,5 ℔ Ladung	Keil-6℔der 0,7 ℔ Ladung	4℔der 0,5 ℔ Ladung
5	900	1200	1250
6	1050	1400	1450
7	1200	1600	1650
8	1350	1750	1800
9	1500	1900	2000
10	1650	2000	2200
11	1750	2200	2350
12	1900	2300	2500
13	2000	2450	2650
14	2150	2600	2800
15	2300	2700	2900

Es ist durchaus nicht nöthig (wenn auch wünschenswerth), daß der Geschützführer seine bezügliche Wurftafel auswendig wisse; der hohe Bogenschuß giebt Zeit genug, die Entfernung ablesen zu können. Man hat eben zu bedenken, daß wir nicht ein z. B. scheinbar 2000 Schritt weites Ziel unbedingt treffen, sondern daß wir in diesem Falle aus dem 4℔der mit 9 Grad werfen wollen, um zu sehen, wie weit 2000 Schritt sind. Wir glauben nicht, daß man zu besorgen habe, bei der Infanterie an moralischem Einflusse zu verlieren, wenn man sichtlich nicht sofort trifft — sondern wir glauben diesen noch gehoben zu sehen, wenn man sich entschließen würde, beim Eröffnen des Feuers einige Geschütze nach einander mit steigender Elevation feuern zu lassen. Wenn die Infanterie dann Schuß um Schuß sich dem Ziele mehr nähern sieht, so scheint es außer Zweifel, daß Theilnahme und Vertranen zur immer sehnsüchtig erwarteten Artillerie in hohem Grade wachsen werden. Natürlich kommt es uns nur auf Annahme des Princips an, die specielle Ausführung ist dann Sache des momentanen Urtheils. Wenn das vorgeschlagene Mittel sich nicht über gewisse Grenzen hin ausdehnen läßt, so haben wir zu bedenken, daß ein Feuer über 3000 Schritt jedenfalls so viel Zeit gestattet, daß man mit einem Feldfernrohr sich im Allgemeinen nach den Geschoßaufschlägen über die Terrainweiten orientiren kann.

Wenn es auch auf das Entschiedenste zu vermeiden ist, durch unsicheres Schießen Munition zu verlieren, so halten wir es dennoch für möglich, daß der andern Waffen wegen an den Artillerie-Kommandeur die Pflicht herantreten kann, lediglich des Donners wegen einige Schüsse und sogar in schneller Folge zu geben. Oft darf

das aber gewiß nicht vorkommen, dann würden Manöverkartuschen auch hinreichne.

199. In Betreff des eben vorgeschlagenen Beobachtungsmittels halten wir selbst für das Shrapnelfeuer auf großen Entfernungen diese Art der Terraineintheilung durch den hohen Schuß dem Einschießen durch den flachen Schuß mindestens ebenbürtig. Wir haben ja gesehen, daß es für eine genügende Shrapnelwirkung nicht immer nöthig ist, die Entfernung absolut genau zu kennen, dann würde dieses theure Geschoß gewiß ein entbehrliches. Obgleich unsere Batterien die Kriegserfahrung vor uns voraus haben, so halten wir doch dafür, daß man gut schießen nur durch Uebung auf dem Schießplatze lernen kann, und daß es dem Charakter der gezogenen Geschütze durchaus entsprechend ist, die Schießübungen wesentlich in dem Sinne auszuführen, daß sie eine Vorübung des Krieges sind, daß also jede Batterie statt auf gemessener sich immer auf ungekannten Entfernungen einschieße.

Zu dem Zwecke wiederholen wir die höchst einfachen Korrekturregeln:

1) Schießt man mit der Gebrauchsladung über 50 bis 60 Schritt zu kurz oder zu weit, so korrigire man nach dem ersten Schusse (dazu zählt auch ein Treffer an dem oberen Scheibenrand).
2) Schießt man unter 50 Schritt zu kurz oder zu weit, so warte man den zweiten und bei Verkleinerung des Fehlers selbst den dritten Schuß ab.
3) Den scheinbar gemachten Fehler dividire man durch 15 für die lange, durch 30 für die kurze Visirlinie, so erhält man die nöthige Korrektur in Sechzehntel Zollen. (Die kleinsten Veränderungen sind für horizontale Ziele $1/8$ resp. $1/16$ Zoll je nach der Visirlinie.)

200. Wir haben noch die Beobachtungsmittel zu besprechen, welche durch Zeitmessungen und durch die scheinbare Größe bekannter Körper oder die Deutlichkeit des Sehens gegeben sind.

Die annähernden Zeitmessungen würden die einfachsten sein, wenn sie immer ausführbar wären, da man sich sehr leicht üben kann, ganze Sekunden und selbst Theile derselben zu zählen. Die Flugzeiten fremder Geschosse sind ungefähr denen der unsrigen gleich. Wäre man also im Stande, die Zeit von dem durch das Aufblitzen eines Geschützes angekündigten Abgange eines Geschosses bis zu dem Aufschlage zu zählen, so würde man sich über die ungefähre Entfernung des Geschützes leicht orientiren können, indem man die

Sekundenzahl mit 400 Schritt multiplizirt. Haben wir bei dem bekannten $^1/_7$ Sekunden-Takte z. B. 5 mal 7 gezählt, so giebt die Regel 5. 400 = 2000 Schritt oder bei $5^5/_7$ (wofür man auch 6 setzen kann) $^{40}/_7$. 400 = 2300 Schritt) für 6 hätten wir gefunden 6. 400 = 2400 Schritt). Dieser Regel kann man hinzufügen: $^1/_7$ und $^2/_7$ läßt man weg, $^3/_7$ und $^4/_7$ rechnet man $^1/_2$ und $^5/_7$ und $^6/_7$ rechnet man für 1 Sekunde. Ueber 7 Sekunden hat man mit 350 Schritt zu multipliziren. Die Uebung dieser Beobachtung würde sich für die Distanziers auf dem Schießplatze empfehlen.

Zu derselben Klasse gehört das Beobachten der Bewegung des Schalles. Dieser legt bekanntlich in einer Sekunde 430 Schritt zurück. Man würde also die vom Aufblitzen des Geschützes bis zum Heranrollen des Donners gefundene Sekundenzahl mit 430 Schritt multipliziren, und dann finden wir:

für	1	Sekunde	400 bis	500	Schritt
=	2	=	800 =	900	=
=	3	=	1200 =	1400	=
=	4	=	1600 =	1800	=
=	5	=	2000 =	2200	=

Die Beobachtungen, welche sich auf die scheinbare Größe eines bekannten Gegenstandes oder auf die Deutlichkeit des Sehens stützen, verlangen große Uebung, sind sehr unsicher und haben deshalb geringen Werth. Wir wollen indessen Folgendes anführen.

Man sieht bei Truppen

auf 500 Schritt: jeden Arm und Bewegung, auch die Gewehre;
= 800 = Kopf, Ober- und Unterkörper;
= 1000 = Bewegung der Beine seitlich;
= 1200 = einzelne Rotten und ihre Bewegungen;
= 1400 = allgemeine Bewegung der Truppen.

Es giebt noch manche andere Regeln, welche aber von eben so wenig Bedeutung sind.

Damit schließen wir das Bild von unseren gezogenen Geschützen, und trotz manchen wohl zu Tage tretenden Schwächen hoffen wir, der Artillerie einen unsern Kräften nach nicht unwesentlichen Dienst geleistet zu haben.

Pro gloria et patria
Ultima ratio regis!

In unserm Verlage sind ferner erschienen:

Behandlung der gezogenen Geschütze beim Scharfschießen. 1865. Preis 7½ Sgr.

Berneck, K. G. v., Königl. Pr. Major und erster Militärlehrer beim Kadetten-Corps ꝛc. ꝛc. Geschichte der Kriegskunst, für Militär-Akademien und Offiziere aller Grade. Dritte, mit den Ergebnissen der neuesten Kriege vermehrte Aufl. 1867. Preis 1 Thlr. 5 Sgr.

Compendium zum Unterricht der mit Führung der Bataillons-Patronenwagen und Jägermunitions-Karren beauftragten Avancirten der Infanterie und der Jäger. Mit 21 Holzschnitten. 1863. Preis 10 Sgr.

Entwurf zur Anleitung über den Bau von Angriffs- und Küstenbatterien. 1865. Preis 15 Sgr.

Zusammenstellung der Zusätze und Berichtigungen zum Entwurf zur Anleitung über den Bau von Angriffs- und Küstenbatterien. 1866. Preis 2 Sgr.

Grabe, A., Hauptmann in der Königl. Preuß. Artillerie. Die Kriegführung an den Meeresküsten. Eine analytische Entwickelung auf Grund der Darstellungen von der Umbildung, Neugestaltung und der erfolgten wie zu erwärtenden Bethätigung der materiellen Kriegsmittel im Vergleiche zur früheren Art des Küstenkrieges. Mit 2 gravirten Tafeln. 1865. Preis 1 Thlr. 20 Sgr.

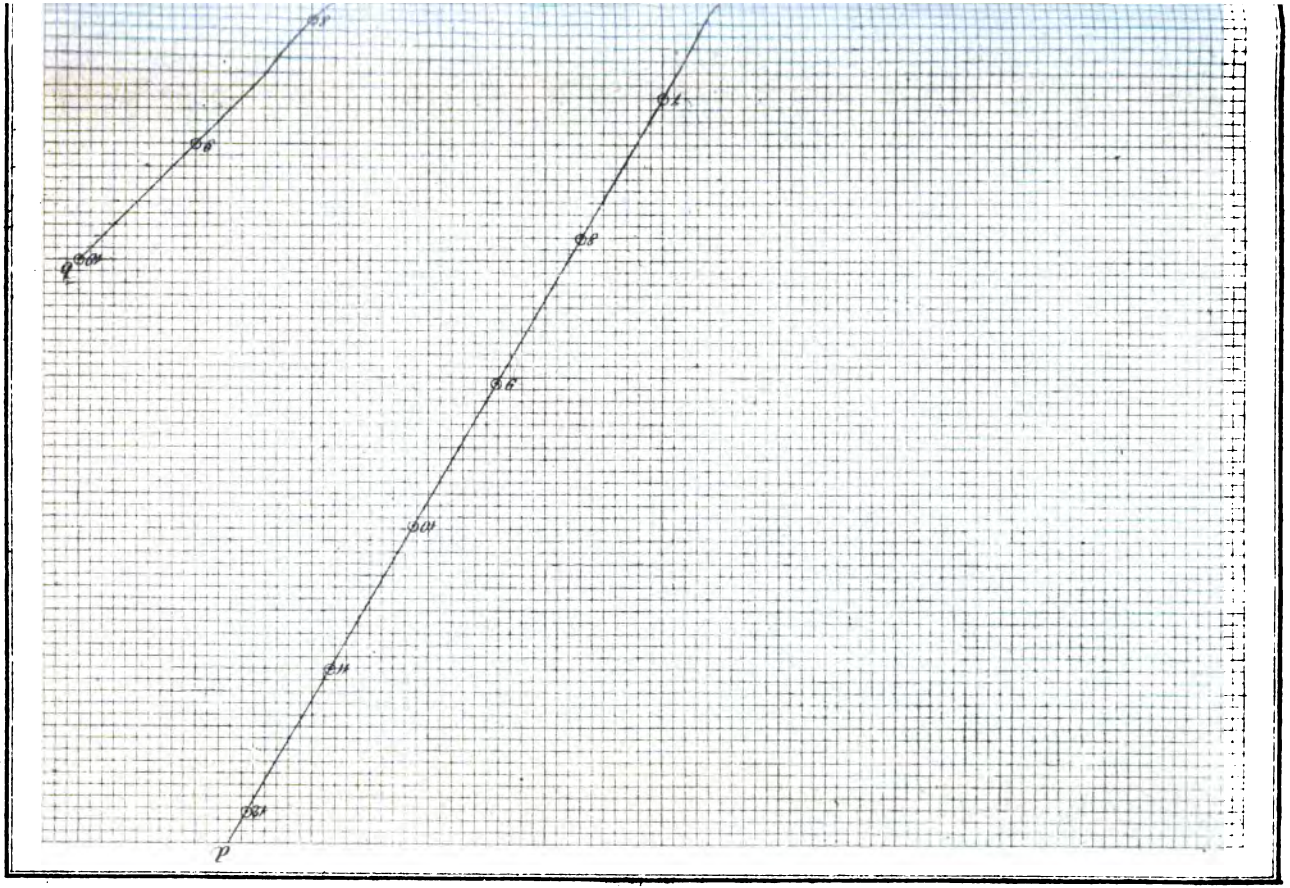
— Ueber die Bedeutung des ersten Kampfes von Panzerschiffen für die künftig gebotene Bauart der Kriegsschiffe. Vornehmlich vom Gesichtspunkt der Widerstandsfähigkeit gegen die Geschützwirkung. 1862. Preis 20 Sgr.

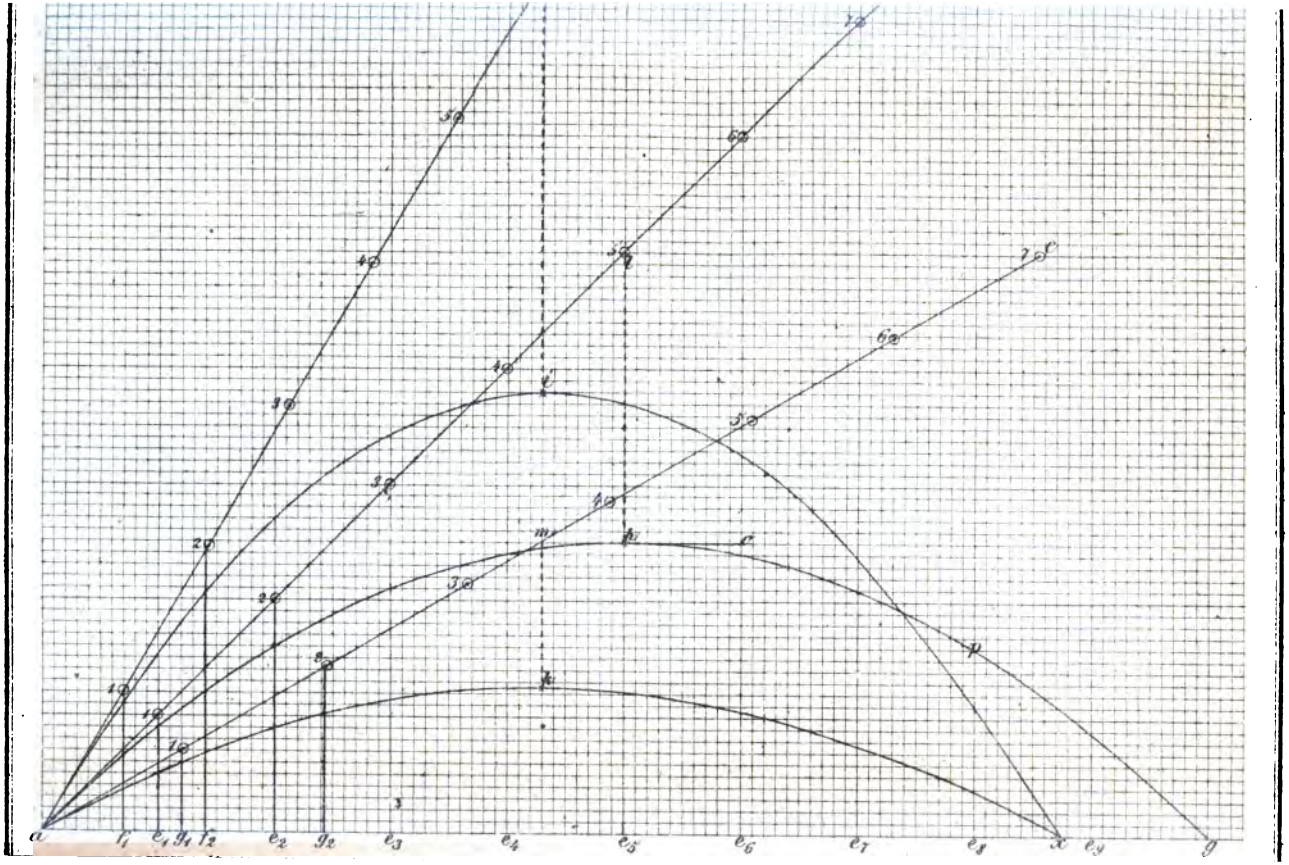
Hand- und **Taschenbuch** für Offiziere der Preuß. Feld-Artillerie. Zum Gebrdrch bei der Ausbildung und im Felde. Mit 220 Figuren im Text und auf 13 lithogr. Tafeln. 1865. Preis 1 Thlr. 15 Sgr.

Hoffmann, Hauptmann à la suite der 4. Artillerie-Brigade. Der Festungs-Kanonier. Ein Handbuch für Kanoniere der Festungs-Artillerie. Mit 9 Holzschnitten. 1865. Preis 20 Sgr.

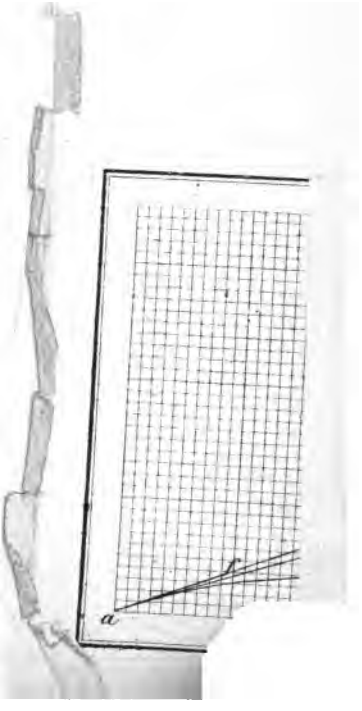
— Der Feld-Kanonier. Ein Handbuch für den artilleristischen Vortrag für die Kanoniere der Feld-Artillerie. 2. Aufl. 1867.

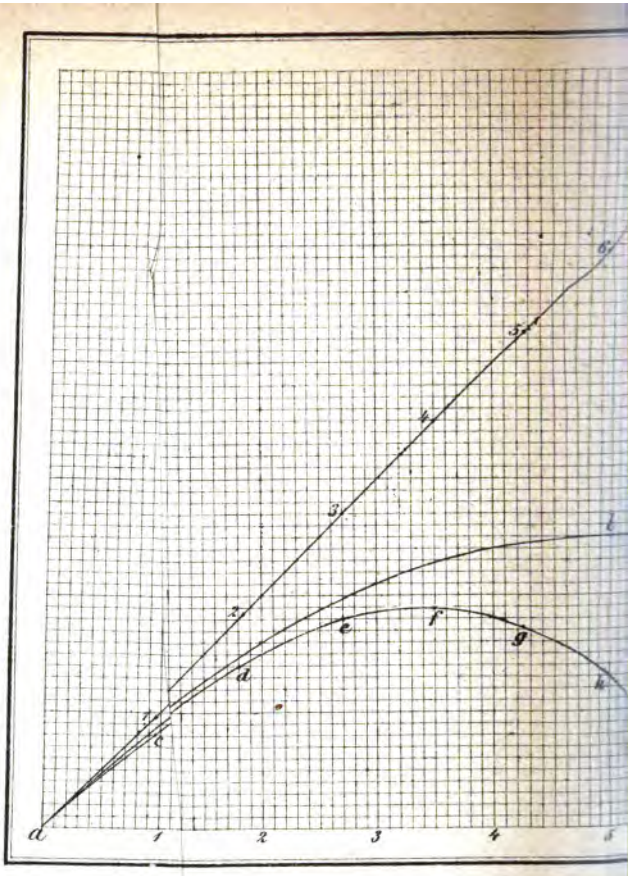
Jacobi, C., Hauptmann in der Königl. Preuß. Artillerie. Die gezogenen Geschütze der Amerikaner bei der Belagerung von Charleston von 1863 bis 1865 in ihrer Verwendung, Wirkung und Haltbarkeit. Nebst einer Kritik der Angriffs- und Vertheidigungs-Operationen. Mit 3 Plänen. 1866. Preis 20 Sgr.

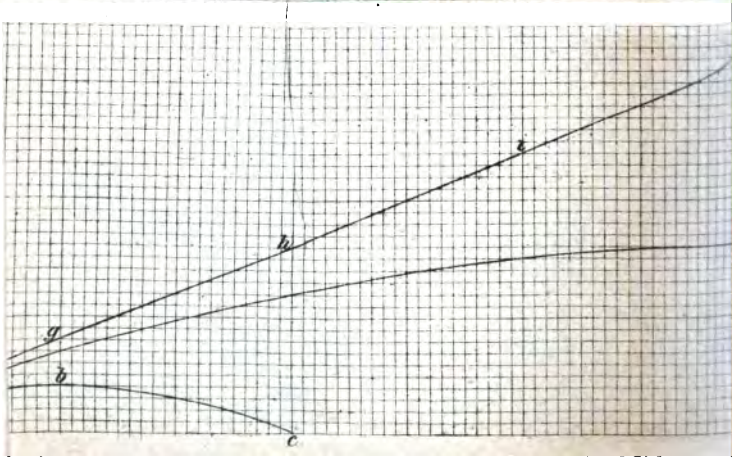

Φ1
Φ2
Φ3
Φ4
Φ5
Φ6
Φ7
Φ8
Φ9
Φ10
Φ11
Φ12
Q
P

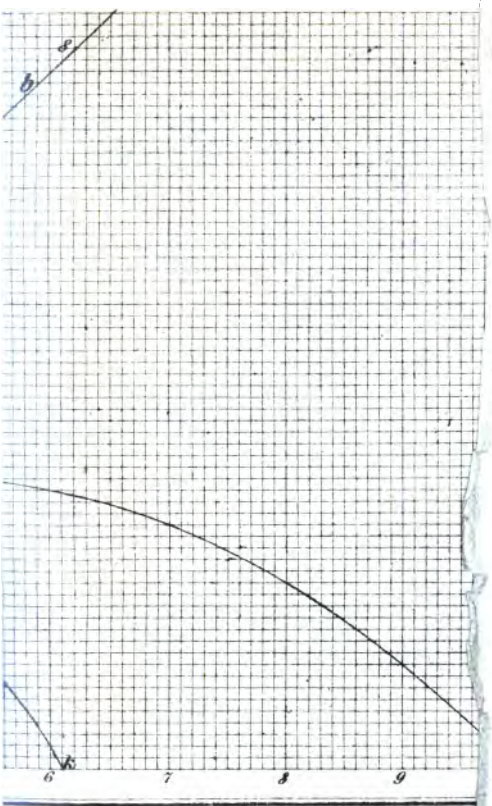


a
f_1
e_1
g_1
f_2
e_2
g_2
e_3
e_4
e_5
e_6
e_7
e_8
x
e_9
g
m
h
c
p
k

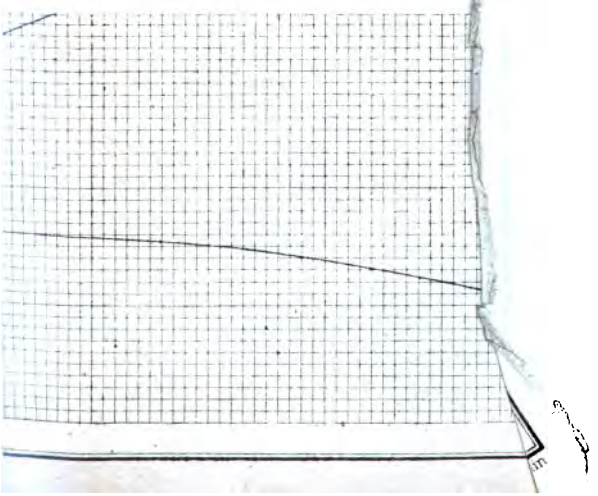

a


a
1
2
3
4
5
6
b
c
d
e
f
g
h


g
h
i
b
c



12.



Die

Ballistik der gezogenen Geschütze.

In elementaren

Formeln und Zeichnung

ohne Tafeln dargestellt

und an den

Ergebnissen der Königlich Preußischen Präcisions-Waffe geprüft

durch

Martin Prehn,
Oberfeuerwerker in der Königlich Preußischen Garde-Artillerie-Brigade.

Berlin, 1864.
In Commission bei E. S. Mittler und Sohn.
Kochstraße 69.

Seiner Königlichen Hoheit

dem

Prinzen Karl von Preußen,

General-Feldzeugmeister und Chef der Artillerie,

dem erhabenen Beschützer dieser Waffe

und jeder für sie nützlichen Thätigkeit

mit

Höchstdessen gnädigster Erlaubniß

in tiefster Ehrfurcht ganz unterthänigst zugeeignet

vom

Verfasser.

Vorwort.

Die nachstehende Abhandlung erhält nicht allein einen besonderen Werth durch die große Uebereinstimmung, welche sich zwischen den darin zur Anwendung gekommenen Rechnungen und den Ergebnissen der Erfahrung zu erkennen giebt, sondern auch durch die hiermit verbundene Wahrnehmung: daß durch die Vervollkommnung der Ausübung des Schießens, welche mit der Einführung der gezogenen Geschütze eingetreten ist, ebenfalls der Theorie des Schießens ein sehr wesentlicher Dienst geleistet sein dürfte.

In allen Wissenschaften sind nämlich die Erfahrungen der Theorie jederzeit weit voraus geeilt gewesen und werden es auch stets bleiben. Wenn nun aber beispielsweise von den Gesetzen, nach denen sich die Geschosse bewegen oder ihre Bahnen beschreiben, das des Luftwiderstandes, vorzugsweise aber die Gesetze der Einwirkung der Rotation bis zur Stunde bei weitem noch nicht genügend erforscht sind, so dürfte dies seinen hauptsächlichsten Grund darin haben: „daß man in Folge der nicht zu bewältigen gewesenen, jedoch nur anscheinenden Regellosigkeit des Schießens aus glatten Geschützen nicht im Stande gewesen ist, der Wissenschaft diejenigen Thatsachen, in denen jene Gesetze enthalten sind und sich in ewig wiederkehrender Weise aussprechen, so zu überliefern, daß dadurch dieselben in möglichst einfacher Weise bestimmt erscheinen und hiermit für ihre Erforschung das größte Hinderniß beseitigt ist, nämlich die fortgesetzte übergroße Veränderlichkeit der Thatsachen selbst und deren hiermit verbundene verschiedenartige Auslegungen."

Von der Sicherheit des Schießens aus gezogenen Geschützen dürfte demgemäß auch eine wesentliche Förderung für die Wissenschaft zu erwarten sein. Allerdings erscheinen durch die Art, wie bei diesem Schießen die Einwirkung der Rotation benutzt ist, zunächst nur nach Möglichkeit

die ſtörenden Einflüſſe beſeitigt, welche ſie ſelbſt bei jeder anderen Art ihres Stattfindens auf die Geſchoßbahn ausübt, und wie hierfür ein Nachweis in der vorliegenden Schrift gefunden werden kann; jedoch hat die hiermit bewirkte Vereinfachung und Regelmäßigkeit der Geſchoßbahnen auch eine Vereinfachung der auf dieſe anwendbaren Theorien zur Folge, und Vereinfachung iſt entweder ſchon an und für ſich gleichbedeutend mit Vervollkommnung, oder doch wenigſtens die erſte und ſicherſte Grundlage für jede Vervollkommnung.

In der Hauptſache beſchäftigt ſich die vorliegende Abhandlung mit einem wiſſenſchaftlichen Nachweiſe der großen Geſetzmäßigkeit, welche in den Ergebniſſen des Schießens aus gezogenen Geſchützen anzutreffen iſt. Der hiermit betretene Weg dürfte ſowohl für die Ausübung als die Theorie des Schießens gegenwärtig noch als der nützlichſte und richtigſte zu betrachten ſein, und wird dieſer Anſicht nur noch hinzugefügt: daß in beiden Beziehungen der Werth jenes Nachweiſes als ein um ſo größerer anzuſehen ſein wird, je geringer der Zwang iſt, unter dem er geführt iſt, das heißt: „je mehr die nachzuweiſende Geſetzmäßigkeit in den Verſuchsergebniſſen anzutreffen und nicht umgekehrt auf ſie übertragen worden iſt".

Von dieſen Geſichtspunkten aus empfiehlt der Unterzeichnete die vorliegende Schrift einer allgemeinern Beachtung, die weitere Verfolgung ihres Inhaltes aber vorzugsweiſe denjenigen jüngeren Kameraden, denen es daran liegt, die ſtummen, durch die Erfahrung gegebenen Thatſachen durch den Geiſt der Wiſſenſchaft redend zu machen, und für die ihnen anvertraute Zukunft der Waffe zunächſt durch eine vielſeitige und dabei gründliche Ausbildung des eigenen Geiſtes Sorge zu tragen.

Die vorliegende Schrift iſt und bleibt in allen Beziehungen das alleinige Werk ihres Verfaſſers, und ebenſo der Anhang zu derſelben, welcher die wiſſenſchaftliche Herleitung der in ihr zur Anwendung gekommenen Grundgleichung zu liefern beſtimmt iſt, und zwar in ähnlicher einfacher Weiſe mittelſt unbeſtimmter Coefficienten, wie Seite 63 und folgende des 14. Bandes des Archivs die Integrirung der balliſtiſchen Grundgleichungen durch den Unterzeichneten bewirkt und im 29. Bande Seite 93 und folgende für die Ausübung weiter ausgerechnet worden iſt.

Berlin, den 29 October 1863.

Neumann, Oberſt.

Den Herren Vorgesetzten

dieſe Arbeit vorzulegen, bewegt den Unterzeichneten nicht die Täuſchung, etwas Neues gefunden zu haben, wohl aber der lebhafte Wunſch, durch den Beifall Derſelben das Gefundene brauchbar halten zu dürfen.

Nach dem Ausſpruche des Herrn Oberſt Otto (Mathematiſche Theorie des Ricochettſchuſſes von J. C. F. Otto, Berlin 1833, pag. VI) iſt die Aufgabe der Balliſtik:

1) Ermittelung des wahren Luftwiderſtandsgeſetzes;
2) Auffindung der Gleichung für die Geſchoßbahn für eine gegebene Anfangsgeſchwindigkeit;
3) Uebertragung der Anfangsgeſchwindigkeit in Ladung.

Seite VII ebendaſelbſt ſagt der Herr Verfaſſer: „Die Reſultate jeder Auflöſung müſſen, wenn dieſe nicht zu einer müßigen Speculation werden ſollen, zuletzt in einer ſolchen Form erſcheinen, welche nur die allererſten Kenntniſſe der Mathematik vorausſetzt, mit dem möglichſt kürzeſten Zeitaufwande zum Ziele führt u. ſ. w.“

Der Unterzeichnete glaubt, durch die vorliegende Arbeit darthun zu können, daß für unſere gezogenen Geſchütze die geſtellte Aufgabe für die Praxis ſehr einfach durch Benutzung der bisherigen allgemeinen Arbeiten zu löſen iſt; nämlich,

1) daß das Newton'ſche Luftwiderſtandsgeſetz (wenn nicht das wahre) das hinreichend genügende iſt;
2) daß die bisherige Coordinatengleichung für die Geſchoßbahn in ihren allererſten Gliedern für alle Fälle der Praxis genügt;
3) daß durch ein ſehr einfaches empiriſches Geſetz die Anfangsgeſchwindigkeit in Ladung zu übertragen iſt.

In Folge deſſen war es leicht, die Formeln ganz elementar darzuſtellen und neben der logarithmiſchen jede andere Tafel zu vermeiden, ſelbſt bei der Anwendung auf die Berechnung der Flugzeiten.

Die gegebene Löſung bezieht ſich zunächſt auf die beiden 6 Uder, die beiden 12 Uder und den 24 Uder. Es würde nun ſowohl für die Wiſſen-

ſchaft der Waffe als für die Waffe ſelbſt von hohem Intereſſe ſein, das Verhalten fremder Geſchoßconſtructionen zu den aufgeſtellten Formeln prüfen zu können. Daß die Bahnen der Geſchoſſe aus Geſchützen, welche auf denſelben Principien wie die preußiſchen, alſo z. B. aus denen von Sir W. Armſtrong, durch dieſe Formeln beſtimmt ſind, liegt außer Zweifel. Zunächſt aber bietet ſich hier die Frage, ob der preußiſche 48Uder werde in geſteigertem Maße den ausgeſprochenen Geſetzen folgen? Die allernächſte Zukunft wird dieſe Frage beantworten, und zwar mit einem Materialreichthum, welcher ſelten für die Prüfung eines Geſetzes zu Gebote ſtehen möchte. Der 48Uder wird mit verſchieden ſchweren Geſchoſſen für die Reihe verſchiedener Ladungen verſchiedene Reihen von Anfangsgeſchwindigkeiten liefern, bei denen es ſich darum handeln wird, die Geſetze ihres Zuſammenhanges zu unterſuchen. Sind dieſe Geſetze unter ſich gleich und identiſch mit dem, welches ſich bei den andern Kalibern herausgeſtellt hat, ſo iſt daſſelbe kein zufälliges, und es iſt dann gewiß gerechtfertigt, auszuſprechen, daß ſelten eine ſo beſtimmte Thatſache für die Theorie der Gasſpannung dargeboten iſt, und daß dieſe Thatſache werth iſt, auch von nicht artilleriſtiſchen Phyſikern beachtet zu werden. (Daß das Geſetz ſich in noch beſtimmtere Formen faſſen laſſe, wird nicht bezweifelt.) Gleichzeitig wird dieſes Geſetz eine wichtige Baſis für die Theorie der Rotation um eine Längenachſe bieten.

Möge nun höheres Wiſſen über die Brauchbarkeit der Arbeit entſcheiden mit der Nachſicht, welche eine Erſtlingsarbeit zu erwarten nöthig hat.

M. Prehn,
Oberfeuerwerker in der Garde-Artillerie-Brigade.

Einleitung.

Die seit einem Jahrhundert verfolgten Versuche, das Gesetz der ballistischen Curve durch eine Coordinatengleichung auszudrücken, führen auf die Form

$$\text{Ordinate } y = x \operatorname{tang} \alpha - \frac{g x^2}{2 c^2 \cos \alpha^2} - \frac{g x^3}{6 c^3 \cos \alpha^3 k} \text{ plus}$$

eine unendliche Anzahl von Gliedern, welche nach einem nicht allgemein erkannten Gesetze die steigenden Potenzen von x (Abscisse), c (Anfangsgeschwindigkeit), Functionen von α (Elevationswinkel) und k (Constante, welche der Größe des Luftwiderstandes nach dem Newton'schen Gesetze zugehört) enthalten.

Setzt man in dieser Gleichung

$$\frac{y}{k} = q, \quad \frac{x}{k \cos \alpha} = u \text{ und } \frac{k g}{c^2} = r,$$

so ergiebt sich nach der Division mit k *)

$$q = u \sin \alpha - \frac{r u^2}{2!} - \frac{r u^3}{3!} + \left\{ \begin{matrix} - r \\ + r^2 \sin \alpha \end{matrix} \right\} \frac{u^4}{4!} + \ldots$$

Diejenigen Glieder, welche r in der ersten Potenz enthalten, lassen sich sehr einfach zusammenfassen, da sie in folgender Weise auftreten

$$r \left(\frac{u^2}{2!} + \frac{u^3}{3!} + \frac{u^4}{4!} + \frac{u^5}{5!} + \ldots \right),$$

welche Reihe sich ausdrücken läßt durch r ($e^u - 1 - u$), wo e die Grundzahl der natürlichen Logarithmen bedeutet.

Die Summation des übrigen äußerst verwickelten Theiles ist am vollständigsten durch die Tafeln über den Bombenwurf und die Neuen Ballistischen Tafeln des Herrn Oberst Otto ausgeführt worden, während

*) cfr. Mathematische Theorie des Ricochettschusses von J. C. F. Otto. Berlin 1833.

außerdem von den bedeutendsten älteren Mathematikern und namentlich der älteren und neueren preußischen Artillerie die wichtigsten Arbeiten über diesen Gegenstand in verschiedenen Formen geliefert worden sind, deren keiner indessen so ausgebreitete Tafeln wie die genannten zur Seite stehen.

Für kleine Elevationen hat man sich mit der Gleichung

$$q = u \sin \alpha - \gamma (\alpha^2 - 1 - u)$$

begnügt und Resultate erhalten, welche, bei der großen Streuung glatter Geschütze mit sphärischen Geschossen, als annähernd betrachtet werden konnten.

Da aber bei diesen Geschützen im Allgemeinen die Grenze für kleine Elevationen gleichbedeutend ist mit der für kleine Schußweiten, so zeigt sich die Brauchbarkeit der Formel sehr eingeschränkt.

Der ganzen Entwickelung fehlt überdies die Berücksichtigung der Einwirkung der Rotation des Geschosses, welche die Wirkung des Luftwiderstandes so modificiren kann, daß statt der Verkürzung der Flugbahn möglicherweise eine Verlängerung derselben hervorgeht, wie dies durch die Verwerthung bei unseren excentrischen Geschossen (mit Schwerpunkt oben) hinreichend bekannt und bewahrheitet ist.

Die Rechnung war schon schwierig genug; sie wird es aber durch Beachtung der Rotation in so viel höherem Grade, daß sie, nach rein wissenschaftlichen Speculationen betrieben, durchaus unausführbar geworden ist. Unsere Artillerie besitzt trotz dessen eine auf die Benutzung wirklicher Versuchsresultate gestützte Lösung des ballistischen Problems durch Aufstellung empirischer und auch rein wissenschaftlicher Formeln*). Diese Lösungen erfordern aber eine so große Anzahl von Tafeln, daß sie kaum in verdientem Maße verwendet werden, um so mehr, als durch die Verwerthung einer graphischen Methode für die Darstellung ballistischer Gesetze ein Weg gezeigt ist, welcher mit Leichtigkeit die dringendsten Fragen beantwortet hat.

---

*) Hilfsmittel für ballistische Rechnungen des Herrn Oberst Otto.
Formeln zur Ausführung ballistischer Rechnungen des Herrn Oberst Neumann, Archiv 29. Band 2. Heft.

Selbst die einfachste Gestalt der eben beregten Formeln

$$y = x \operatorname{tang} \alpha + F\left(e^{\frac{x}{k}} - 1 - \frac{x}{k}\right) + G\left(e^{\frac{2x}{k}} - 1 - \frac{2x}{k}\right)$$

erweckt bei ihrer Anwendung bedeutende Schwierigkeiten, so daß es für das praktische Rechnen gewiß wünschenswerth ist, einen, wenn auch nur annähernd richtigen, einfachen Ausdruck für die Flugbahncurve zu besitzen.

Für die sphärischen Geschosse hat sich die Unmöglichkeit lange genug schon gezeigt (wohl auch wegen der nicht großen Uebereinstimmung der Schießergebnisse unter sich) — aber bei den Geschossen der gezogenen Geschütze haben wir jene Rotation um eine Querachse nicht. Es ist also natürlich, zu untersuchen, in wie weit die allgemeine Bahngleichung sich für sie verwerthen läßt.

Diese Gleichung enthält zwei unabhängige Variable, Elevation und Entfernung, und außerdem die Anfangsgeschwindigkeit und die Luftwiderstandsconstante in steigenden Potenzen, so daß sie, nach einer oder der andern dieser Größen geordnet, die übrigen sehr vernachlässigen würde, wenn sie nicht aus einer bedeutenden Anzahl von Gliedern bestände.

Für das sphärische Geschoß bedurfte man wirklich einer großen Anzahl von Gliedern; es wird sich aber ergeben, daß für unsere gezogenen Geschütze die Reihe so schnell convergirt, daß wir nicht über das Glied hinauszugehen brauchen, welches die Grundgrößen noch in einfachster Form enthält.

Der Gegenstand dieser Arbeit ist nun, darzuthun, daß die Bahn der Geschosse unserer gezogenen Geschütze dargestellt werden kann durch die geschlossene Gleichung

$$y = x \operatorname{tang} \alpha - \frac{g x^2}{2 c^2 \cos \alpha^2} - \frac{g x^3}{6 c^2 \cos \alpha^2 k},$$

deren analytische Herleitung im Anhange beigefügt ist.

Diese Gleichung, hervorgegangen durch die Convergenz der allgemeinen ballistischen Reihe für die den gezogenen Geschützen entsprechenden Zahlen-

werthe, bietet den Vortheil, daß ſie geſtattet, für alle Aufgaben der Balliſtik elementare Formeln aufzuſtellen, deren Anwendung jede Tafel außer der logarithmiſchen ausſchließt, und daß, ſo lange man keine beſſere hat, ſie nicht bloß als Nothbehelf anzuſehen iſt, da die Fehler, welche ſie macht, ſelbſt bis 5000 Schritt noch äußerſt gering ſind.

Der Nachweis wird durch directe Benutzung von wirklichen Schießergebniſſen geführt werden.

Es iſt hierbei beſonders auszuſprechen, daß alle Hypotheſen über die Urſache und Art der Seitenabweichungen unberückſichtigt geblieben ſind. Die Berechtigung dazu wird das Reſultat zeigen, und ſie liegt außerdem in folgenden Erwägungen:

1) Die Seitenabweichungen haben in Wirklichkeit noch keine andere Geſetzmäßigkeit angedeutet, als daß ſie gewöhnlich nach rechts ſtattfinden, für große Entfernungen größer ſind als für kleinere, und daß ſie an demſelben Schießtage ziemlich gleichmäßig ſind;
2) Störungen durch die Einflüſſe der Athmoſphäre verändern dieſe Geſetzmäßigkeit vollſtändig;
3) trotz der Ungleichmäßigkeit an verſchiedenen Tagen üben ſie auf die Trefffähigkeit unſerer gezogenen Geſchütze in Bezug auf die Erhebung über dem Horizonte keinen bemerkbaren Einfluß.

Dieſe geringe ſichtbare Geſetzmäßigkeit der Seitenabweichungen, der ſonſt ſo großen Trefffähigkeit der gezogenen Geſchütze gegenüber, zeigt, daß es zwar Formeln für ſie geben kann, daß es aber gar nicht gelingen kann, ſie a priori theoretiſch zu beſtimmen.

In der Wirklichkeit laſſen ſie ſich leicht überwinden; die Praxis fühlt alſo nicht das Bedürfniß, ſie zu berechnen, und übrigens ſind ſie gar nicht von ſolcher Bedeutung, daß ſie in den meiſten Fällen des Ernſtgebrauchs nicht mit mehr Recht dürften vernachläſſigt werden, als es bei den glatten Geſchützen durch die Natur der Sache immer von ſelbſt geſchehen mußte.

§. 1.

Um einen anſchaulichen Ausdruck für die Wirkung des Luftwiderſtandes und in Bezug auf dieſelbe einen Vergleich zwiſchen dem Verhalten der ſphäriſchen Geſchoſſe aus glatten Geſchützen und der Langgeſchoſſe aus gezogenen Geſchützen zu gewinnen, iſt es zweckmäßig, den wirklich erhaltenen Schußweiten in einem Beiſpiele die für den luftleeren Raum berechneten gegenüberzuſtellen.

Wir erhalten für den glatten 6Uder bei einer Anfangsgeſchwindigkeit von 1580 Fuß für 4 Grad Elevation nach der Schußtafel eine Schußweite von etwa 1680 Schritt *), während die Rechnung 4660 Schritt ergiebt; der Verluſt an Schußweite beträgt danach 2980 Schritt, alſo etwa 65 Procent. Dagegen giebt der gezogene 6Uder bei 1026 Fuß Anfangsgeſchwindigkeit mit 4 Grad Elevation eine Schußweite von 1720 Schritt, während die Rechnung 1950 Schritt, alſo einen Verluſt von 230 Schritt oder 12 Procent herausbringt.

Zu einem ſolchen Vergleiche kann man auch alle andern Elemente der Flugbahn benutzen, alſo ſowohl Erhöhungswinkel, als Einfallwinkel, als namentlich die Ordinaten der Curve. Dieſe letzteren ſeien für die vorliegende Arbeit gewählt.

Denkt man zwei gleiche Geſchoſſe unter gleicher Elevation mit gleicher Anfangsgeſchwindigkeit abgehend, das eine im luftleeren, das andere im lufterfüllten Raume unter der Wirkung eines verzögernden Luftwiderſtandes, ſo wird die Bahn des erſteren fortwährend über der des letzteren liegen, und das Geſchoß wird auf der Entfernung x ſich um y über dem Punkte befinden, in welchem das andere Geſchoß wieder in den Horizont der Geſchützmündung tritt.

Die Höhe y iſt ein Maß für die Größe der Wirkung des Luftwiderſtandes und kann leicht berechnet werden.

§. 2.

Sei es nun erlaubt, die Gleichung der Flugbahn im luftleeren Raume kurz in Erinnerung zu bringen.

Die gekrümmte Bahn entſteht durch das Zuſammenwirken der Pulverkraft, welche durch die Anfangsgeſchwindigkeit c ausgedrückt wird, und der Beſchleunigung der Schwere, dargeſtellt durch die Zahl g = 31,25 Fuß.

*) Balliſtik des Herrn Hauptmann Roerdanz, pag. 68.

Während das Geſchoß nach der Zeit t in der anfänglichen Richtung würde den Weg c t zurückgelegt haben, iſt es um $\frac{1}{2} g t^2$ gefallen. Seine Höhe über dem Horizonte der Geſchützmündung würde alſo

$$y = x \operatorname{tang} \alpha - \tfrac{1}{2} g t^2$$

betragen.

Die Abſciſſe x iſt der Weg c t, multiplicirt mit dem cos α, alſo

$$x = c t \cos \alpha,$$

woraus ſich

$$t = \frac{x}{c \cos \alpha}$$

ergiebt, welches, in die Gleichung für y ſubſtituirt, dieſe reducirt auf

$$y = x \operatorname{tang} \alpha - \frac{g x^2}{2 c^2 \cos \alpha^2}$$

Dieſe Gleichung drückt die Flugbahn im luftleeren Raume als Parabel aus. Die rechte Seite derſelben bildet zugleich die zwei erſten Glieder der zu Anfang gegebenen allgemeinen Bahngleichung; ſo daß man leicht veranlaßt iſt, zu unterſuchen, wie viele Glieder dieſer letzteren Reihe man der eben gefundenen Parabelgleichung hinzufügen muß, um die aus derſelben berechneten y für das Ende der wirklichen Bahn auf Null zu bringen.

Prüft man in Bezug hierauf einen Ausdruck, wie es hier mit

$$\frac{g x^3}{6 c^3 \cos \alpha^3 k}$$

geſchehen ſoll, berechnet daraus die Conſtante k und findet zunächſt für eine Ladung eines Geſchützes für verſchiedene Entfernungen nahehin denſelben Werth; genügt dann mittelſt dieſes Werthes die erhaltene Gleichung auch den Schießergebniſſen anderer Ladungen deſſelben Geſchützes und in unveränderter Geſtalt auch denen der andern Kaliber, ſo ſcheint ſie ein Recht darauf zu haben, als annähernd richtiger Ausdruck für das Geſetz der Bahncurve angeſehen zu werden.

Die Gleichung

$$q = u \sin \alpha - r (e^{u} - 1 - u)$$

bildete für dieſelbe Unterſuchung den Ausgangspunkt. Sehr umfangreiche

Rechnungen haben gezeigt, daß sie mit Veränderung der Constanten ganz gleiche Resultate giebt mit der viel einfacheren

$$y = x \operatorname{tang} \alpha - \frac{g x^2}{2 c^2 \cos \alpha^2} - \frac{g x^3}{6 c^2 \cos \alpha^3 k}$$

oder

$$q = u \sin \alpha - \frac{r u^2}{2l} - \frac{r u^3}{3l}.$$

Sie bietet aber den Nachtheil, daß sie die nothwendigste Bedingung für die praktische Brauchbarkeit, einfach und ohne besondere Tafeln alle ballistischen Aufgaben der gezogenen Geschütze zu lösen, nicht erfüllen kann (man sehe Anhang).

§. 3.

Setzt man beim eisernen gezogenen Vierundzwanzigpfünder für 4 ℔. Ladung die Anfangsgeschwindigkeit $c = 940$ Fuß und benutzt als wirkliche Schießergebnisse (reducirt auf den mittleren Treffpunkt)

$x = 600, 1200, 1800, 2614{,}5, 3318, 4232, 4964$ Schritt,
$\alpha = 1^0\,30', 3^0\,4\frac{1}{2}', 4^0\,45\frac{1}{2}', 7^0\,7', 9^0\,25', 13^0\,3', 15^0\,47'$,

so wird für den luftleeren Raum

$y = 1{,}0, 7{,}6, 27{,}3, 76{,}4, 168{,}5, 432{,}1, 657{,}2$ Fuß,

während im lufterfüllten Raume $y = o$ ist.

Wenn jedesmal

$$\frac{g x^3}{2 c^2 \cos \alpha^2 k} = y$$

gesetzt wird, so ergiebt sich nach einander

$k = 7375, 7753, 7329, 8128, 7666, 6442, 7256$ Schritt,

woraus als arithmetisches Mittel

$$k = 7421 \text{ Schritt}$$

hervorgeht.

Dieser Werth ist für die Rechnungen als erste Grundlage benutzt worden. Es hat sich dann aber herausgestellt, daß

$$k = 7102{,}4 \text{ Schritt}$$

sich den Ergebnissen der übrigen Ladungen genauer anschloß; und

dieſe Zahl, welche jetzt ihrer Bedeutung nach in ganz anderer Weiſe hergeleitet werden ſoll, iſt in den auf den 24 Uber bezüglichen Rechnungen durchgängig benutzt worden. Weitere Unterſuchungen werden dieſe Conſtante natürlich ſchärfer beſtimmen können. Ueber die hierbei zu erfüllenden Bedingungen wird weiter unten geſprochen werden.

§. 4.

Die Bedeutung von k.

Die bezeichnete Flugbahngleichung iſt aus der Vorausſetzung entſtanden, daß der Luftwiderſtand abhängig ſei von dem Quadrate der Geſchwindigkeit des Geſchoſſes, daß ſeine Größe ſich alſo ausdrücken laſſe durch die Form $b v^2$.

Die Conſtante b wurde von Newton in folgender Weiſe beſtimmt:

Der Luftwiderſtand, welchen eine bewegte Kugel erleidet, iſt gleich dem Gewichte einer Luftſäule, deren Baſis der größte Kreis der Kugel, und deren Höhe ein gewiſſer Antheil der Geſchwindigkeitshöhe iſt, welche der Geſchwindigkeit entſpricht.

Mathematiſch erhält dieſes Geſetz die Form

$$W = F \cdot \frac{\lambda v^2}{2g} \gamma,$$

wo W den Widerſtand, F den größten Kreis, $\frac{v^2}{2g}$ die Geſchwindigkeitshöhe, γ das Gewicht eines Cubikfußes Luft und λ den gewiſſen Factor für den Antheil der Geſchwindigkeitshöhe bezeichnen, welcher letzterer Factor allein als unbekannt zu betrachten iſt, da aus den nächſten Rechnungen v^2 verſchwinden wird. Während wir die Kraft $b v^2$ ſuchen, drückt W den wirklichen Widerſtand aus, alſo die Größe einer der Geſchoßbewegung entgegengeſetzten Bewegung, hervorgerufen durch dieſelbe, und nach dem Grundſatze der Mechanik, daß die Gegenwirkung gleich der Wirkung, ausdrückbar als Produkt der Geſchoßmaſſe m in $b v^2$ d. h. $W = b m v^2$. Unter der Maſſe eines Körpers verſteht man ſein Gewicht dividirt durch die Zahl g. Wenn alſo das Gewicht der Kugel Q iſt, ſo erhalten wir die Gleichung

$$b v^2 = W \cdot \frac{g}{Q}$$

Durch Substitution wird jetzt

$$b\,v^2 = F\,\lambda\,\frac{v^2}{2g}\,\gamma\cdot\frac{g}{Q},$$

also

$$b = \frac{F\,\lambda\,\gamma}{2\,Q}.$$

Nun ist $F = \frac{1}{4}D^2\,\pi$; die Luft ist bei 15° R. 823 mal leichter als Wasser (1 Cubikfuß desselben wiegt 61,7 ℔), folglich ihr cubisches Gewicht

$$\gamma = \frac{61{,}7\ ℔}{823};$$

mithin ist

$$b = \frac{\frac{1}{4}D^2\,\pi\,\lambda}{2\,Q}\cdot\frac{61{,}7\ ℔}{823}.$$

In den ballistischen Rechnungen tritt b in der Form $\frac{1}{2\,b}$ als Faktor auf. Setzt man $\frac{1}{2\,b} = k$, so erhält man, wie sich zeigen wird, k als Längenmaß, also gewissermaßen als Maßstab, nach welchem, die errechneten Coordinaten als absolute Zahlen betrachtet, die wirklichen Bahnen im Raume ausgeführt erscheinen.

Vollzieht man diese Substitution, so wird

$$k = \frac{4\,Q\ ℔}{(D'')^2\,\pi}\cdot\frac{823}{61{,}7\ ℔}\cdot\frac{1}{\lambda},$$

und betrachtet man Q ℔ als entstanden aus: cubischem Inhalt multiplicirt mit dem cubischen Gewichte h, so ist

$$k = \frac{4\cdot\frac{1}{6}(D'')^3\,\pi\,.\,h\ ℔}{(D'')^2\,\pi}\cdot\frac{823}{61{,}7\ ℔}\cdot\frac{1}{\lambda}$$

d. h. k erscheint als Längenmaß, ausgedrückt in Zollen, Fußen oder Schritten (= 2,4 Fuß). Für die praktische Rechnung ist es immer sehr wichtig, stets sich der Benennung bewußt zu sein, welche man auf der linken Seite der Gleichung erhält, und welche man auf der rechten erhalten will. Es sind den allgemeinen Buchstaben-Ausdrücken also jedesmal solche Factoren hinzuzufügen, welche eine Homogenität der Gleichungen herbeiführen. In unserm Falle muß man sich also bei Q jedesmal den Factor 1 denken, je als 1 Cubikzoll, 1 Cubikfuß oder 1 Cubikschritt.

Drückt man nun Q in Pfunden, D in Zollen aus, so ist:

$$\text{in Fußen } k = \frac{4.823 . Q}{61{,}7 . \lambda . \pi \left(\frac{D}{12}\right)^3} = \frac{4.823.144}{61{,}7 . \lambda . \pi} \cdot \frac{Q}{D^3},$$

$$\text{in Schritten } k = \frac{4.823.144}{2{,}4 . 61{,}7 . \lambda \pi} \frac{Q}{D^3} = \frac{4.823.60}{61{,}7 \lambda . \pi} \cdot \frac{Q}{D^3}$$

§. 5.

Die Zahl λ.

Daß man dieses Luftwiderstandsgesetz, welches für die Kugel aufgestellt ist, mit der nöthigen Veränderung von λ auf ein Geschoß von der Form eines Cylinders mit angesetzter Spitze übertragen kann*), wenn dasselbe nicht um eine Querachse rotirt, erscheint nicht zweifelhaft, da der nach der Richtung der Horizontalen entgegenstrebende Widerstand, welcher den Cylindermantel trifft und im aufsteigenden Aste als hebende, im absteigenden Aste als drückende Kraft auftritt, nahehin aufgehoben zu werden scheint durch den im aufsteigenden Aste das verticale Steigen, im absteigenden Aste das verticale Fallen hindernden Widerstand, wenn die Achse des Geschosses in der Bahntangente oder nahe in derselben sich bewegt, so daß also nur der Widerstand gegen die Spitze übrig bleibt. Nun hat Herr Oberst Otto in den „Hilfsmitteln für ballistische Rechnungen" nachgewiesen, daß die Verschiedenheiten der complicirtesten Luftwiderstandsgesetze äußerst geringen Einfluß auf die Rechnungsresultate ausüben.

Die Luftwiderstandsconstante k muß in derselben Weise, wie für die Kugel, bestimmt werden, während die Form der Spitze einen andern Werth für λ erfordert. Newton setzte für die Kugel λ = 0,5, während Borda 0,6 annahm und Hutton den Werth selbst je nach der Geschwindigkeit variiren ließ.

Der für k in §. 3 gefundene Werth 7421 Schritt bietet ein Mittel, näherungsweise den von λ zu finden.

Setzen wir für F den größten Querschnitt des Geschosses, so hat dieser den Durchmesser der Wulste oder den der Züge; also ist

D = 5,82" beim 24Uber,

*) Versuch zu einem System der Artillerie-Wissenschaft des Herrn Hauptmann von Schirrmann. Band 1, pag. 148.

4,70″ beim 12 Uder,
3,60″ „ 6 Uder.

Die Durchschnittsgewichte Q sind

54,3 U. beim 24 Uder,
29 U. „ 12 Uder,
13,8 U. „ 6 Uder.

In der im vorigen Paragraphen für k entwickelten Formel

$$\lambda\, k = \frac{4 \,.\, 823 \,.\, 60}{61{,}7 \,.\, \pi} \,.\, \frac{Q}{D^2}$$

ist der erste Bruch für die drei Geschoßarten constant, und zwar ist sein

$$\log = 0{,}20496.$$

Wenn λ für gleiche Formen gleichen Werth hat, so heißt diese Formel, da $k = \frac{1}{2\,b}$, also $b = \frac{1}{2\,k}$, nicht anders als der alte artilleristische Satz:

Bei congruenten Geschossen ist das specifisch schwerere, bei mathematisch ähnlichen das größere gegen den Luftwiderstand im Vortheil; oder mit anderen Worten:

Wenn der 24 Uder, 12 Uder und 6 Uder mit gleichen oder sehr nahe gleichen Elevationen gleiche Schußweiten erreichen, so muß die Anfangsgeschwindigkeit des 24 Uders kleiner sein als die des 12 Uders, und diese kleiner als die des 6 Uders; oder: das der Granate congruente Shrapnel hat dieser gegenüber, während das den drei übrigen ähnliche 48 Uge Geschoß diesen gegenüber in Bezug auf die Ueberwindung des Luftwiderstandes den Vorzug.

Wenn man in dieser Formel für $\lambda\, k$ die Werthe von $\frac{Q}{D^2}$ substituirt, so wird

$\log \lambda\, k = 3{,}21313$ für den 24 Uder,
3,12637 „ „ 12 Uder,
3,03545 „ „ 6 Uder,

welche Zahlen von dem Werthe von λ ganz unabhängig sind.

Setzt man für den 24 Uder

$$k = 7421, \text{ also } \log k = 3{,}87046,$$

so wird

$$\log \lambda = 3{,}21313 - 3{,}87046 = 0{,}34267 - 1,$$

also

$$\lambda = 0{,}22.$$

Führt man die in §. 2. angedeutete und in §. 3 für 4 U. Ladung ausgeführte Rechnung auch für andere Ladungen aus, so ergiebt sich der Werth $\lambda = 0{,}23$ als noch passender, und mittelst desselben

$$k = 7102{,}4 \text{ und } \log k = 3{,}85140$$

für den 24Uder.

§. 6.
Grundgleichungen.

Die Coordinatengleichung der Bahn der Geschosse der gezogenen Geschütze ist

$$y = x \operatorname{tang} \alpha - \frac{g x^2}{2 c^2 \cos \alpha^2} - \frac{g x^3}{6 c^3 \cos \alpha^3 k} \quad (1).$$

Hier setze man

$$\frac{y}{k} = q, \quad \frac{x}{k \cos \alpha} = u \text{ und } g \frac{k}{c^2} = r;$$

dann geht die Gleichung, nachdem man sie durch k dividirt hat, über in

$$\frac{y}{k} = \frac{x \sin \alpha}{k \cos \alpha} - \frac{g k}{2 c^2} \cdot \frac{x^2}{k^2 \cos \alpha^2} - \frac{g k}{2 c^2} \cdot \frac{x^3}{3 k^3 \cos \alpha^3}$$

oder

$$q = u \sin \alpha - r \frac{u^4}{1.2} - r \frac{u^3}{1.2.3} \ldots (2),$$

worin nur absolute Zahlen enthalten sind.

Aus diesen Gleichungen (1) und (2) sollen jetzt

1) für gegebene Elevation und Schußweite die Anfangsgeschwindigkeit,
2) umgekehrt die Elevation,
3) umgekehrt die Schußweite,
4) die Einfallwinkel,
5) die Endgeschwindigkeiten,
6) die Flugzeiten und
7) die Coordinaten des Culminationspunktes

zunächst für den 24Uder berechnet werden.

Dann sollen die gefundenen Gesetze durch Anwendung auf die beiden 12Uder und die beiden 6Uder geprüft werden.

§. 7.

Berechnung der Anfangsgeschwindigkeit.

Für das Ende der Bahn ist $y = o$, also auch $q = o$; dadurch verwandelt sich die Gleichung

$$q = u \sin \alpha - r \frac{u^2}{1.2} - r \frac{u^3}{1.2.3}$$

in

$$u \sin \alpha = \frac{r u^2}{1.2} + \frac{r u^3}{1.2.3}$$

oder

$$\sin \alpha = \frac{r u}{1.2} + \frac{r u^2}{1.2.3}$$

oder

$$\sin \alpha = \frac{r u (3 + u)}{6}$$

und, da $r = \frac{g k}{c^2}$, $\frac{g k}{c^2} = \frac{6 \sin \alpha}{u(3+u)}$,

also

$$c = \sqrt{\frac{u (3+u)\, g k . 2{,}4}{6 \sin \alpha}}.$$

Beispiel:

Gegeben sei $k = 7102{,}4$ Schritt, welches aus dem Werthe $\lambda = 0{,}23$ berechnet ist; ferner $x = 1800$ Schritt $\alpha = 4° 45\frac{1}{2}'$, $\log x = 3{,}25527$,

$x_1 = 4964$ " $\alpha = 15° 47'$, $\log x_1 = 3{,}69583$,

dann findet man resp. $c = 941{,}1$ und 940 Fuß.

Die zu Grunde gelegten Zahlen gehören wirklichen Schießergebnissen an. Jetzt fragt es sich: Wie verhalten sich die übrigen Ladungen zu den gemachten Voraussetzungen?

Es ist noch geschossen worden mit 3 ℔, 2,2 ℔ und 1,7 ℔ Ladung; und zwar ergiebt sich für 3 ℔ Ladung

$x =$	600 Schritt	1200 Schritt	1800 Schrttt,
$\alpha =$	$2° 2\frac{1}{4}'$	$4° 15\frac{1}{2}'$	$6° 33'$,
$c =$	804,6	801,3	803,9 Fuß,

woraus als arithmetisches Mittel $c = 803$ Fuß;

für 2,2 ℔ Ladung

$x =$	600 Schritt	1200 Schritt	1800 Schritt,
$\alpha =$	$2° 53\frac{1}{4}'$	$5° 58\frac{1}{2}'$	$9° 1\frac{1}{2}'$,
$c =$	677,2	677,7	687,7 Fuß,

woraus als Mittel $c = 680$ Fuß;

für 1,7 ℔. Ladung

$x =$	600 Schritt	1200 Schritt	1800 Schritt
$\alpha =$	$3° 44\frac{1}{2}'$	$7° 56'$	$12° 12'$
$c =$	596'1	589,3	595,8 Fuß,

woraus als Mittel $c = 594$ Fuß.

Als Prüfstein für die Brauchbarkeit der aufgestellten Bahngleichung wurde angenommen, daß dieselbe bei demselben Werthe von λ für jede besondere Ladung aus verschiedenen Entfernungen nahe dieselbe Anfangsgeschwindigkeit herausbringe.

Da die Gleichung hier diese Bedingung erfüllt, so ist noch darauf hinzuweisen, in welchem Wechselverhältniß c und k stehen, um aus den Angaben einer Ladung den besten Werth von λ zu finden. Bei gegebener Elevation und Entfernung ist die Anfangsgeschwindigkeit um so kleiner, je kleiner man den Luftwiderstand, d. h. je größer man k annahm, um so größer also, je größer man λ setzte. Der Einfluß einer Veränderung von λ ist bei kleinen Entfernungen sehr gering, bei den großen bedeutender.

§. 8.
Berechnung der Elevation.

Nach der vorigen Entwickelung war

$$6 \sin \alpha = r u (3 + u)$$

oder

$$6 \sin \alpha = \frac{g k}{c^2} \left(3 + \frac{x}{k \cos \alpha}\right) \frac{x}{k \cos \alpha}.$$

Wollte man hieraus eine Funktion von α direct entwickeln, so würde man auf eine Gleichung vierten Grades geführt werden. Diese Unbequemlichkeit kann man umgehen, wenn man sich eine Ungenauigkeit zu Schulden kommen läßt, welche indeß durch eine einfache Correctur leicht beseitigt werden kann. Wenn man nämlich in demjenigen $\frac{x}{k \cos \alpha}$, welches in der Klammer enthalten ist, $\cos \alpha$ gleich 1 setzt, was bei allen Elevationen bis zu 2000 Schritt ohne Bedenken geschehen darf, und namentlich auch, weil in dem Factor $3 + \frac{x}{k \cos \alpha}$ der Summand $\frac{x}{k \cos \alpha}$ immer sehr klein gegen die Summe ist, so wird

$$6 \sin \alpha = \frac{g\,k}{c^2}\left(3 + \frac{x}{k}\right)\frac{x}{k \cos \alpha}$$

oder

$$6 \sin \alpha \cos \alpha = \frac{g}{c^2\,k}(3\,k + x)\,x,$$

woraus also

$$\sin 2\,\alpha = \frac{g}{c^2\,k}\left(k + \frac{x}{3}\right)x$$

sich ergiebt.

Da der Zähler eine Dimension in Schritten mehr enthält als der Nenner, so ist für die numerische Berechnung ihm noch der Factor 2,4 hinzuzufügen.

Der durch die einmalige Vernachlässigung von cos α entstehende Fehler wird sich bei der Berechnung der horizontalen Schußweite ausweisen; er beträgt für 4964 Schritt erst 8 Minuten. Uebrigens ist zu bemerken, daß diese Abkürzung nur einmal benutzt wird, und daß nach Hinzufügung der Correctur zu den berechneten Elevationen dieselbe keinen Einfluß auf die Schußtafel hat. Alle anderen Aufgaben werden strenge nach der aufgestellten Gleichung gelöst werden.

Beispiele:

1. Für 4 ℔. Ladung sind wirklich gegeben:

$x =$ 600, 1200, 1800, 2614,5, 3318, 4232, 4964 Schritt,

$\alpha =$ 1° 30½′, 3° 4½′, 4° 45½′, 7° 7′, 9° 25′, 13° 3′, 15° 47′.

Sei dann $k = 7102{,}4$ Schritt, $c = 940$ Fuß, so wird der Grad der erreichten Annäherung sich in Folgendem zeigen, wobei eben zu beachten ist, daß in Folge der Bestimmung von k aus den Verhältnissen des Geschosses und mittelst eines zu Grunde gelegten Werthes von λ, die errechneten Resultate nunmehr nicht als aus den Schießergebnissen rückwärts abgeleitete, sondern vielmehr als lediglich aus der Bahngleichung errechnete anzusehen sind. Diese Bemerkung gilt namentlich für eine Ladung, welche nicht, wie die von 4 ℔., den in der Einleitung angestellten Betrachtungen zu Grunde gelegen hat. Möge ein vollständig ausgerechnetes Beispiel hier Platz finden, um daran erkennen zu lassen, mit wie geringem Zeitaufwande man im Stande ist, eine Schußtafel für verschiedene Ladungen zu berechnen.

dieſe Zahl, welche jetzt ihrer Bedeutung nach in ganz anderer Weiſe hergeleitet werden ſoll, iſt in den auf den 24 ü der bezüglichen Rechnungen durchgängig benutzt worden. Weitere Unterſuchungen werden dieſe Conſtante natürlich ſchärfer beſtimmen können. Ueber die hierbei zu erfüllenden Bedingungen wird weiter unten geſprochen werden.

§. 4.

Die Bedeutung von k.

Die bezeichnete Flugbahngleichung iſt aus der Vorausſetzung entſtanden, daß der Luftwiderſtand abhängig ſei von dem Quadrate der Geſchwindigkeit des Geſchoſſes, daß ſeine Größe ſich alſo ausdrücken laſſe durch die Form $b v^2$.

Die Conſtante b wurde von Newton in folgender Weiſe beſtimmt:

Der Luftwiderſtand, welchen eine bewegte Kugel erleidet, iſt gleich dem Gewichte einer Luftſäule, deren Baſis der größte Kreis der Kugel, und deren Höhe ein gewiſſer Antheil der Geſchwindigkeitshöhe iſt, welche der Geſchwindigkeit entſpricht.

Mathematiſch erhält dieſes Geſetz die Form

$$W = F \cdot \frac{\lambda v^2}{2g} \gamma,$$

wo W den Widerſtand, F den größten Kreis, $\frac{v^2}{2g}$ die Geſchwindigkeitshöhe, γ das Gewicht eines Cubikfußes Luft und λ den gewiſſen Factor für den Antheil der Geſchwindigkeitshöhe bezeichnen, welcher letzterer Factor allein als unbekannt zu betrachten iſt, da aus den nächſten Rechnungen v^2 verſchwinden wird. Während wir die Kraft $b v^2$ ſuchen, drückt W den wirklichen Widerſtand aus, alſo die Größe einer der Geſchoßbewegung entgegengeſetzten Bewegung, hervorgerufen durch dieſelbe, und nach dem Grundſatze der Mechanik, daß die Gegenwirkung gleich der Wirkung, ausdrückbar als Produkt der Geſchoßmaſſe m in $b v^2$ d. h. $W = b m v^2$. Unter der Maſſe eines Körpers verſteht man ſein Gewicht dividirt durch die Zahl g. Wenn alſo das Gewicht der Kugel Q iſt, ſo erhalten wir die Gleichung

$$b v^2 = W \cdot \frac{g}{Q}$$

Durch Subſtitution wird jetzt

$$b\,v^2 = F\,\lambda\,\frac{v^2}{2g}\,\gamma\cdot\frac{g}{Q},$$

alſo

$$b = \frac{F\,\lambda\,\gamma}{2\,Q}.$$

Nun iſt $F = \frac{1}{4}D^2\,\pi$; die Luft iſt bei 15° R. 823 mal leichter als Waſſer (1 Cubikfuß deſſelben wiegt 61,7 ℔), folglich ihr cubiſches Gewicht

$$\gamma = \frac{61{,}7\ ℔}{823};$$

mithin iſt

$$b = \frac{\frac{1}{4}D^2\,\pi\,\lambda}{2\,Q}\cdot\frac{61{,}7\ ℔}{823}.$$

In den balliſtiſchen Rechnungen tritt b in der Form $\frac{1}{2b}$ als Faktor auf. Setzt man $\frac{1}{2b} = k$, ſo erhält man, wie ſich zeigen wird, k als Längenmaß, alſo gewiſſermaßen als Maßſtab, nach welchem, die errechneten Coordinaten als abſolute Zahlen betrachtet, die wirklichen Bahnen im Raume ausgeführt erſcheinen.

Vollzieht man dieſe Subſtitution, ſo wird

$$k = \frac{4\,Q\ ℔}{(D'')^2\,\pi}\cdot\frac{823}{61{,}7\ ℔}\cdot\frac{1}{\lambda},$$

und betrachtet man Q ℔ als entſtanden aus: cubiſchem Inhalt multiplicirt mit dem cubiſchen Gewichte h, ſo iſt

$$k = \frac{4\cdot\frac{1}{6}(D'')^3\,\pi\,.\,h\ ℔}{(D'')^2\,\pi}\cdot\frac{823}{61{,}7\ ℔}\cdot\frac{1}{\lambda}$$

d. h. k erſcheint als Längenmaß, ausgedrückt in Zollen, Fußen oder Schritten (= 2,4 Fuß). Für die praktiſche Rechnung iſt es immer ſehr wichtig, ſtets ſich der Benennung bewußt zu ſein, welche man auf der linken Seite der Gleichung erhält, und welche man auf der rechten erhalten will. Es ſind den allgemeinen Buchſtaben-Ausdrücken alſo jedesmal ſolche Factoren hinzuzufügen, welche eine Homogenität der Gleichungen herbeiführen. In unſerm Falle muß man ſich alſo bei Q jedesmal den Factor 1 denken, je als 1 Cubikzoll, 1 Cubikfuß oder 1 Cubikſchritt.

Drückt man nun Q in Pfunden, D in Zollen aus, so ist:

$$\text{in Fußen } k = \frac{4.823.Q}{61{,}7.\lambda.\pi\left(\frac{D}{12}\right)^2} = \frac{4.823.144}{61{,}7.\lambda.\pi}.\frac{Q}{D^2},$$

$$\text{in Schritten } k = \frac{4.823.144}{2{,}4.61{,}7.\lambda\,\pi}\,\frac{Q}{D^2} = \frac{4.823.60}{61{,}7\,\lambda.\pi}.\frac{Q}{D^2}$$

§. 5.

Die Zahl λ.

Daß man dieses Luftwiderstandsgesetz, welches für die Kugel aufgestellt ist, mit der nöthigen Veränderung von λ auf ein Geschoß von der Form eines Cylinders mit angesetzter Spitze übertragen kann *), wenn dasselbe nicht um eine Querachse rotirt, erscheint nicht zweifelhaft, da der nach der Richtung der Horizontalen entgegenstrebende Widerstand, welcher den Cylindermantel trifft und im aufsteigenden Aste als hebende, im absteigenden Aste als drückende Kraft auftritt, nahehin aufgehoben zu werden scheint durch den im aufsteigenden Aste das verticale Steigen, im absteigenden Aste das verticale Fallen hindernden Widerstand, wenn die Achse des Geschosses in der Bahntangente oder nahe in derselben sich bewegt, so daß also nur der Widerstand gegen die Spitze übrig bleibt. Nun hat Herr Oberst Otto in den „Hilfsmitteln für ballistische Rechnungen" nachgewiesen, daß die Verschiedenheiten der complicirtesten Luftwiderstandsgesetze äußerst geringen Einfluß auf die Rechnungsresultate ausüben.

Die Luftwiderstandsconstante k muß in derselben Weise, wie für die Kugel, bestimmt werden, während die Form der Spitze einen andern Werth für λ erfordert. Newton setzte für die Kugel λ = 0,5, während Borda 0,6 annahm und Hutton den Werth selbst je nach der Geschwindigkeit variiren ließ.

Der für k in §. 3 gefundene Werth 7421 Schritt bietet ein Mittel, näherungsweise den von λ zu finden.

Setzen wir für F den größten Querschnitt des Geschosses, so hat dieser den Durchmesser der Wulste oder den der Züge; also ist

D = 5,82" beim 24 Uder,

*) Versuch zu einem System der Artillerie-Wissenschaft des Herrn Hauptmann von Schirrmann. Band 1, pag. 148.

4,70″ beim 12ℳder,
3,60″ " 6ℳder.

Die Durchschnittsgewichte Q sind

54,3 ℳ. beim 24ℳder,
29 ℳ. " 12ℳder,
13,8 ℳ. " 6ℳder.

In der im vorigen Paragraphen für k entwickelten Formel

$$\lambda k = \frac{4.823.60}{61,7.\pi} \cdot \frac{Q}{D^2}$$

ist der erste Bruch für die drei Geschoßarten constant, und zwar ist sein

$$\log = 0,20496.$$

Wenn λ für gleiche Formen gleichen Werth hat, so heißt diese Formel, da $k = \frac{1}{2b}$, also $b = \frac{1}{2k}$, nicht anders als der alte artilleristische Satz:

Bei congruenten Geschossen ist das specifisch schwerere, bei mathematisch ähnlichen das größere gegen den Luftwiderstand im Vortheil; oder mit anderen Worten:

Wenn der 24ℳder, 12ℳder und 6ℳder mit gleichen oder sehr nahe gleichen Elevationen gleiche Schußweiten erreichen, so muß die Anfangsgeschwindigkeit des 24ℳders kleiner sein als die des 12ℳders, und diese kleiner als die des 6ℳders; oder: das der Granate congruente Shrapnel hat dieser gegenüber, während das den drei übrigen ähnliche 48ℳge Geschoß diesen gegenüber in Bezug auf die Ueberwindung des Luftwiderstandes den Vorzug.

Wenn man in dieser Formel für λ k die Werthe von $\frac{Q}{D^2}$ substituirt, so wird

$\log \lambda k = 3,21313$ für den 24ℳder,
3,12637 " " 12ℳder,
3,03545 " " 6ℳder,

welche Zahlen von dem Werthe von λ ganz unabhängig sind.

Setzt man für den 24ℳder

$$k = 7421, \text{ also } \log k = 3,87046,$$

so wird

$$\log \lambda = 3,21313 - 3,87046 = 0,34267 - 1,$$

also

$$\lambda = 0,22.$$

Führt man die in §. 2 angedeutete und in §. 3 für 4 U. Ladung ausgeführte Rechnung auch für andere Ladungen aus, so ergiebt sich der Werth $\lambda = 0{,}23$ als noch passender, und mittelst desselben

$$k = 7102{,}4 \text{ und } \log k = 3{,}85140$$

für den 24Uder.

§. 6.
Grundgleichungen.

Die Coordinatengleichung der Bahn der Geschosse der gezogenen Geschütze ist

$$y = x \operatorname{tang} \alpha - \frac{g x^2}{2 c^2 \cos \alpha^2} - \frac{g x^3}{6 c^3 \cos \alpha^3 k} \quad (1).$$

Hier setze man

$$\frac{y}{k} = q, \quad \frac{x}{k \cos \alpha} = u \text{ und } g \frac{k}{c^2} = r;$$

dann geht die Gleichung, nachdem man sie durch k dividirt hat, über in

$$\frac{y}{k} = \frac{x \sin \alpha}{k \cos \alpha} - \frac{g k}{2 c^2} \cdot \frac{x^2}{k^2 \cos \alpha^2} - \frac{g k}{2 c^2} \cdot \frac{x^3}{3 k^3 \cos \alpha^3}$$

oder

$$q = u \sin \alpha - r \frac{u^4}{1.2} - r \frac{u^3}{1.2.3} \ldots (2),$$

worin nur absolute Zahlen enthalten sind.

Aus diesen Gleichungen (1) und (2) sollen jetzt

1) für gegebene Elevation und Schußweite die Anfangsgeschwindigkeit,
2) umgekehrt die Elevation,
3) umgekehrt die Schußweite,
4) die Einfallwinkel,
5) die Endgeschwindigkeiten,
6) die Flugzeiten und
7) die Coordinaten des Culminationspunktes

zunächst für den 24Uder berechnet werden.

Dann sollen die gefundenen Gesetze durch Anwendung auf die beiden 12Uder und die beiden 6Uder geprüft werden.

§. 7.

Berechnung der Anfangsgeschwindigkeit.

Für das Ende der Bahn ist $y = o$, also auch $q = o$; dadurch verwandelt sich die Gleichung

$$q = u \sin \alpha - r \frac{u^2}{1.2} - r \frac{u^3}{1.2.3}$$

in

$$u \sin \alpha = \frac{r u^2}{1.2} + \frac{r u^3}{1.2.3}$$

oder

$$\sin \alpha = \frac{r u}{1.2} + \frac{r u^2}{1.2.3}$$

oder

$$\sin \alpha = \frac{r u (3 + u)}{6}$$

und, da $r = \frac{g k}{c^2}$, $\frac{g k}{c^2} = \frac{6 \sin \alpha}{u(3+u)}$,

also

$$c = \sqrt{\frac{u (3 + u)\, g k . 2{,}4}{6 \sin \alpha}}.$$

Beispiel:

Gegeben sei $k = 7102{,}4$ Schritt, welches aus dem Werthe $\lambda = 0{,}23$ berechnet ist; ferner $x = 1800$ Schritt $\alpha = 4° 45\frac{1}{2}'$, $\log x = 3{,}25527$,

$x_1 = 4964$ " $\alpha = 15° 47'$, $\log x_1 = 3{,}69583$,

dann findet man resp. $c = 941{,}1$ und 940 Fuß.

Die zu Grunde gelegten Zahlen gehören wirklichen Schießergebnissen an. Jetzt fragt es sich: Wie verhalten sich die übrigen Ladungen zu den gemachten Voraussetzungen?

Es ist noch geschossen worden mit 3 ℔., 2,2 ℔. und 1,7 ℔. Ladung; und zwar ergiebt sich für 3 ℔. Ladung

$x =$	600 Schritt	1200 Schritt	1800 Schrttt,
$\alpha =$	$2° 2\frac{2}{3}'$	$4° 15\frac{1}{2}'$	$6° 33'$,
$c =$	804,6	801,3	803,9 Fuß,

woraus als arithmetisches Mittel $c = 803$ Fuß;

für 2,2 ℔. Ladung

$x =$	600 Schritt	1200 Schritt	1800 Schritt,
$\alpha =$	$2° 53\frac{1}{2}'$	$5° 58\frac{1}{2}'$	$9° 1\frac{1}{2}'$,
$c =$	677,2	677,7	687,7 Fuß,

woraus als Mittel $c = 680$ Fuß;

eine Linie, welche dieſer Tangente parallel iſt und durch den Nullpunkt geht, ſo daß die Größe von tang φ immer in der durch den Schnitt dieſer Linie begrenzten, zu x gehörigen Ordinate angedeutet iſt. Einige ſolcher Schnittpunkte beſtimmen die Curve tang φ, welche in eine Winkelcurve zu übertragen iſt. Bogen und ihre Functionslinien ſind den Radien proportional; wurde alſo 1 Grad durch eine Quadratſeite bezeichnet, ſo iſt der zugehörige Radius auf folgende Weiſe ermittelt:

$$\text{R. arc. } 180^\circ = R\,\pi, \text{ alſo R. arc } 1^\circ = \frac{R\,\pi}{180} = 1, \text{ woraus log R} = 1{,}75812.$$

So erhalten wir für

x =	1500	2500	3500	5000 Schritt,
tang φ =	4,17	7,70	12,22	20,16,

alſo nach Diviſion mit R und mittelſt der Logarithmentafel

$$\varphi = 4^\circ\ 10'\quad 7^\circ\ 39'\quad 12^\circ\ 2'\quad 19^\circ\ 24'.$$

Die Curve fällt übrigens bis 2500 Schritt faſt genau mit der Curve tang φ zuſammen, d. h. man hat in dieſen Fällen die Einfallwinkel ohne alle Rechnung.

§. 11.

Berechnung der Geſchwindigkeit in jedem beliebigen Punkte der Bahn.

Die analytiſche Mechanik giebt für die Geſchwindigkeit in jedem beliebigen Punkte der Bahn unabhängig von dem beſonderen Luftwiderſtandsgeſetze die Gleichung

$$v^2 = -g\frac{d\,x}{d\,\varphi}\ \text{(man ſehe Anhang)},$$

wo φ den Winkel der Bahntangente mit dem Horizonte bezeichnet und in jedem beſonderen Falle durch das Luftwiderſtandsgeſetz beſtimmt iſt.

In §. 10 war

$$\text{tang } \varphi = \text{tang } \alpha - \frac{g\,k}{2\,c^2\cos\alpha}\,(2\,u + u^2);$$

wird dieſe Gleichung nach u differenziirt, ſo entſteht

$$\frac{d\,\varphi}{\cos\varphi^2} = \frac{g\,k}{c^2\cos\alpha}\,(1+u)\,du.$$

Ferner ist

$$du = \frac{dx}{k \cos \alpha}, \text{ da } u = \frac{x}{k \cos \alpha}$$

und die Veränderung nur im Sinne der x genommen ist, also

$$\frac{d\varphi}{du} = \frac{g \cos \varphi^2 (1+u)}{c^2 \cos \alpha^2}$$

oder

$$\frac{du}{d\varphi} = \frac{c^2 \cos \alpha^2}{g \cos \varphi^2 (1+u)},$$

woraus

$$v^2 = \frac{c^2 \cos \alpha^2}{\cos \varphi^2 (1+u)}$$

hervorgeht als Ausdruck für die Geschwindigkeit der Geschosse unserer gezogenen Geschütze.

Es fällt sofort auf, wie nahe diese Formel mit der paraboliſchen

$$v^2 = \frac{c^2 \cos \alpha^2}{\cos \varphi^2} \text{ zusammenhängt.}$$

Trotz dessen darf man beide in der Praxis nicht vertauschen. Da φ als Einfallwinkel immer größer ist als α, was bei der Parabel nicht vorkommen kann, so ist $\cos \varphi$ kleiner als $\cos \alpha$, folglich v größer als c, was nicht der Fall sein kann.

Ganz allgemein heißt für das quadratische Luftwiderstandsgesetz der Ausdruck für die Geschwindigkeit, welche dem Tangentenwinkel φ entspricht,

$$v^2 = \frac{c^2 \cos \alpha^2}{e^{s/k} \cos \varphi^2} \text{ *),}$$

wo e die Grundzahl der natürlichen Logarithmen und s die zurückgelegte Bogenlänge bedeuten.

Die Funktion $e^{s/k}$ ist die bekannte Reihe

$$e^{s/k} = 1 + \frac{s}{k} + \frac{s^2}{2!\, k^2} + \frac{s^3}{3!\, k^3} + \ldots\ldots,$$

welche für kleine $\frac{s}{k}$ sehr schnell convergirt, so daß man näherungsweise

*) Mathematische Theorie des Ricochettschusses des Herrn Oberst Otto, pag. 8.

$$e^{s/k} = 1 + \frac{s}{k}$$

ſetzen darf, welches in Verbindung mit unſerer Gleichung heißen würde

$$1 + \frac{s}{k} = 1 + u, \text{ oder } \frac{s}{k} = \frac{x}{k \cos \alpha}.$$

Aus dieſer Gleichung darf aber nicht $s = x \cos \alpha$ gefolgert werden, da die Multiplication mit k (7102,4 Schritt) eine bedeutende Abweichung hervorbringen würde.

Die obige Gleichung heißt auch

$$v = \frac{c \cos \alpha}{\cos \varphi \, e^{\frac{s}{2k}}};$$

daraus geht für uns die Gleichung

$$v = \frac{c \cos \alpha}{\cos \varphi \left(1 + \frac{u}{2}\right)}$$

hervor, welche convergenter iſt als diejenige, welche die Quadrate enthält.

Für kleine Entfernungen (bis 1000 Schritt) wird einfach

$$v = \frac{c}{1 + \frac{u}{2}}.$$

Hiernach ergiebt ſich nun beiſpielsweiſe die Endgeſchwindigkeit für

x	= 2000′	5000 Schritt
α	= 5° 21′	15° 54′
φ	= 5° 48′	19° 20′
u	= 0,288	0,732
v	= 830	701,7 Fuß.

Für 4 ℔. Ladung ergiebt ſich unter Mitbenutzung graphiſcher Interpolation folgende Tafel:

Entfernung Schritt	Endgeschwindigkeit Fuß	Entfernung Schritt	Endgeschwindigkeit Fuß
200	927,5	2800	792,5
400	915	3000	783,5
600	903	3200	775
800	891	3400	766,5
1000	879,5	3600	758
1200	869	3800	750
1400	858,5	4000	741,5
1600	848,5	4200	733,5
1800	839	4400	725,5
2000	830	4600	716
2200	820,5	4800	709
2400	811	5000	701,5
2600	801,5		

Anmerkung.

Die Gleichung der Endgeschwindigkeiten bietet eine Gelegenheit, die Resultate der Methode, welche die ballistischen Gesetze graphisch darstellt, mit denen der Rechnung zu vergleichen.

Wir haben allgemein

$$v^2 = -g \frac{dx}{d\varphi},$$

wo $d\varphi$ die Veränderung der Winkel φ für dieselbe Bahn, also für constante α bedeutet. Für das Ende der Bahn ist φ der Einfallwinkel und sei $= a$. Geht man nun, wie in §. 10 bei der Bestimmung der Einfallwinkel durch die Formel

$$\text{tang}\,\varphi = \frac{A\,\text{tang}\,(\alpha - \alpha,)}{A - a},$$

wieder von der Vorstellung der Congruenz zweier Bahnen für die Entfernungen x und $x - dx$ aus, so ist der Einfallwinkel b der kürzeren Bahn bezeichnet durch den Winkel der Tangente mit dem um die Elevations-Differenz $d\alpha$ aufwärts geschwenkten Horizont. Diese Tangente fällt mit der für denselben Punkt der längeren Bahn bei wirklicher Congruenz ganz, also wenigstens nahe zusammen; ihr Winkel c mit dem natürlichen Horizonte ist aber um die Elevations-Differenz $d\alpha$ kleiner als der Winkel b, folglich ist die Veränderung der Tangentenwinkel der längeren Bahn ausdrückbar durch (Figur 2)

$$(a - b + d\alpha) = d\varphi^{*});$$

also ist

$$\frac{d\varphi}{dx} = \frac{a - b}{dx} + \frac{d\alpha}{dx}.$$

Der Differenzquotient $\frac{a - b}{dx}$ ist in der Einfallwinkelcurve dargestellt durch die Richtung der Tangente in dem Punkte, welcher x entspricht und $\frac{dx}{d\alpha}$ durch die der Tangente der Elevationscurve für dasselbe x.

Die Verhältnisse $\frac{a - b}{dx}$ und $\frac{dx}{d\alpha}$ können ersetzt werden durch

$$\frac{\Delta a}{\Delta x} \text{ und } \frac{\Delta \alpha}{\Delta x},$$

und diese direct durch die Winkeldifferenzen für eine kleine Entfernung, etwa 50 oder 100 Schritt, dividirt durch diese Entfernung; so findet man z. B. für 2000 bis 2100 Schritt und 4 u. Ladung und die Entfernung $\Delta x = 100$ Schritt $\Delta a + \Delta \alpha = 20' + 17\frac{1}{2}' = 37\frac{1}{2}'$. Da φ ein stumpfer Winkel ist, so wird

$$\text{tang } \Delta\varphi = -\Delta\varphi,$$

also

$$v^2 = \frac{g\,\Delta x}{\text{tang } \Delta\varphi}, \text{ wofür man auch}$$

$$\frac{g\,\Delta x}{\sin \Delta\varphi} \text{ setzen kann.}$$

Dann findet man $v = 830$ Fuß; analog wird für 5000 Schritt ($\Delta\varphi = 30' + 24' = 54'$) $v = 691$ Fuß, wobei natürlich absolute Genauigkeit nicht erwartet werden kann.

§. 12.

Berechnung der Flugzeiten.

Die strengste Prüfung der aufgestellten Bahngleichung würde der Vergleich einer andern Zahlenreihe bilden, welche von der der Schußtafel zu Grunde liegenden gänzlich unabhängig ist, nämlich der Vergleich der beobachteten Flugzeiten mit den hier zu berechnenden. Diese Zahlenreihe kann wegen der unvermeidlich größeren Beobachtungsfehler nicht dieselbe

*) b ist Außenwinkel des Dreiecks, in welchem $d\alpha$ und c liegen.

Uebereinſtimmung zeigen wie die der Elevationen. Indeſſen iſt ſie durch graphiſche Interpolation ausgeglichen, und die ſo erhaltenen Reſultate mögen hier herangezogen werden.

Die Mechanik (ſiehe Anhang) giebt die Flugzeit

$$t = \frac{2\,k\cos\varphi}{c\cos\alpha}\, e^{\frac{s}{2\,k}} - \frac{2\,k}{c}.$$

Setzt man für die Einfallwinkel

$$\cos\varphi = \cos\alpha,$$

ſo wird

$$t = \frac{2\,k}{c}\left(e^{\frac{s}{k}} - 1\right), \text{ und wenn } \frac{s}{2\,k} = \frac{x}{2\,k\cos\alpha} = \frac{u}{2},$$

iſt

$$t = \frac{2\,k}{c}\left(e^{\frac{u}{2}} - 1\right) \ldots\ldots a).$$

Dieſe Gleichung wurde auch bisher für kleine Elevationen benutzt; ſie erfordert aber für ihre bequeme Verwendung eine für $e^m - 1$ ausgerechnete Tafel *). (Anhang.)

Es iſt

$$e^{\frac{u}{2}} = 1 + \frac{u}{2} + \frac{u^2}{2\,.\,4} + \frac{u^3}{2\,.\,3\,.\,8} + \ldots\ldots;$$

dieſe Reihe convergirt in unſerem Falle ſo ſtark, daß wir

$$e^{\frac{u}{2}} = 1 + \frac{u}{2} + \frac{u^2}{2\,.\,4} \text{ ſetzen dürfen,}$$

alſo

$$e^{\frac{u}{2}} - 1 = \frac{u}{2} + \frac{u^2}{2\,.\,4} = \frac{u}{2}\left(1 + \frac{u}{4}\right)$$

und

$$t = \frac{2\,k}{c}\cdot\frac{u}{2}\left(1 + \frac{u}{2}\right) = \frac{k}{c}\,u\left(1 + \frac{u}{4}\right) \ldots\ldots b).$$

Hätte man $s = x$ geſetzt, wie das für geringe Elevationen zu geſchehen pflegt, ſo würde

*) Dieſe Tafel findet man unter der Form $\log \frac{e^m - 1}{m}$ in „Hilfsmittel für balliſtiſche Rechnungen". (Erſte Lieferung, Seite 59), und in „Verſuch zu einem Syſtem der Artillerie-Wiſſenſchaft".

$$t = \frac{2k}{c}\left(\frac{x}{2k} + \frac{x^2}{2.4k^2}\right) = \frac{\left(k + \frac{x}{4}\right)x}{ck} \quad \ldots\ldots (c)$$

geworden sein.

Vernachlässigt man in (b) auch $\frac{u^2}{2.4}$, so wird der Ausdruck

$$t = \frac{ku}{c} = \frac{x}{c \cos \alpha} \quad \ldots\ldots (d)$$

noch leichter anwendbar, wofür man in der Praxis obenhin sagen dürfte

$$t = \frac{x}{c} \quad \ldots\ldots (e).$$

Diese fünf Formeln sind zu prüfen, nachdem die Gesetze, welche sie ausdrücken, kurz in Worten dargestellt sein werden.

Die Formeln d und e zeigen:

1) man erhält annähernd die Flugzeit, wenn man mit der Anfangsgeschwindigkeit in die Entfernung dividirt und umgekehrt; oder

2) die Flugzeiten verhalten sich für dieselbe Ladung annähernd wie die Entfernungen; und

3) zeigen a, b, c und e: die Flugzeiten verhalten sich für gleiche Entfernungen umgekehrt wie die Anfangsgeschwindigkeiten.

Es möge nun an Beispielen das Verhalten der fünf Formeln a, b, c, d und e gezeigt werden.

Die Schußtafel giebt für 4 ℳ bei 1800 Schritt die Flugzeit 4,77 Secunden.

Die Formel a giebt 4,91 Secunden,

b " 4,90 "

c " 4,89 "

d " 4,61 "

e " 4,60 "

Danach sind a, b, c gleichbedeutend; deshalb sei die bequemere Formel c gewählt.

	Schritt	nach c	nach d	nach e	Beobachtet und interpolirt
4 u. c = 940'	600	1,56	—	1,53	1,58
	1200	3,19	—	3,07	3,13
	1500	4,03	—	3,83	3,94
	1800	4,89	4,61	4,60	4,77
3 u. c = 808'	600	1,83	—	1,79	1,76
	1200	3,74	—	3,49	3,60
	1500	4,72	—	4,48	4,55
	1800	5,72	5,41	5,38	5,50
2,2 u. c = 680'	600	2,16	—	2,12	2,10
	1200	4,41	—	4,24	4,27
	1500	5,57	—	5,29	5,37
	1800	6,76	6,43	6,36	6,47
1,7 u. c = 594'	600	2,43	—	2,43	2,44
	1200	5,05	—	4,85	4,90
	1500	6,36	—	6,06	6,17
	1800	7,73	7,44	7,27	7,40

Eine weitere Prüfung dieser Formeln werden die Anwendung auf andere Kaliber und der Anhang ergeben.

§. 13.

Berechnung von Ordinaten der Flugbahn.

Bevor die Beobachtungen in Bezug auf den 24u der geschlossen werden, wollen wir für eine mittlere Entfernung die Coordinaten des Culminationspunktes und für eine große Entfernung untersuchen, wie sich die Ordinaten in der Nähe des Endpunktes verhalten.

Das Geschoß culminirt in dem Punkte der Bahn, für welchen die Tangente dem Horizonte parallel, also der Winkel φ gleich Null ist.

1. Wir nehmen für diesen Fall die einfache Form

$$\operatorname{tang} \varphi = o = \operatorname{tang} \alpha - \frac{r}{\cos^2 \alpha} \left(u + \frac{u^2}{2} \right);$$

daraus folgt

$$\sin \alpha = r \left(u + \frac{u^2}{2} \right)$$

oder

$$u^2 + 2u = \frac{\sin \alpha}{r},$$

also

$$u = -1 + \sqrt{1 + \frac{2 c^2 \sin \alpha}{2{,}4\ g\ k}}$$

und

$$x = k \cos \alpha \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 c^2 \sin \alpha}{2{,}4\ g\ k}} \right).$$

Den so für x gefundenen Werth substituiren wir in die Bahngleichung und finden die zugehörige Ordinate y.

So finden wir für 1800 Schritt bei 4 u Ladung die Abscisse des Culminationspunktes gleich 916 Schritt und erhalten

$$y = 7102{,}4 \text{ Schritt } [0{,}01075 - (0{,}00505 + 0{,}00022)] = 38{,}9 \text{ Schritt}$$

oder gleich 93,4 Fuß.

Um zu erfahren, wie viel die Erhebung über dem Horizonte bei dieser Entfernung von 916 Schritt durch den Luftwiderstand vermindert ist, haben wir nur das dritte Glied in y mit k zu multipliciren und finden

$$0{,}00022 \cdot 7102{,}4 \text{ Schritt} \cdot 2{,}4 = 3{,}7 \text{ Fuß}.$$

Im Anhange wird eine noch einfachere, aber strengere Manier gezeigt werden, den Culminationspunkt für alle Entfernungen zu bestimmen, während die gegebene Formel nur bis etwa 2500 Schritt annähernd richtig ist und zwar der Art, daß bei 5000 Schritt die jetzige Formel 2606 Schritt ergiebt, während aus der späteren 2630 Schritt folgen werden.

2. Die Berechnung der Schußtafel ist gestützt auf den Werth der Ordinate, welcher gleich Null ist; es müßte nach der Schußtafel die Bahngleichung also auch diesen Werth wieder herausbringen. Bei der Berechnung von α ist aber der Fehler begangen worden, daß das dritte Glied nur mit $\cos \alpha^2$ statt mit $\cos \alpha^3$ dividirt worden ist. Deshalb muß nothwendig y etwas zu klein werden. Es ist aber gleichzeitig die Correctur bezeichnet worden, so daß, während für 4964 Schritt α gleich

15° 39′ gefunden wurde, die richtige Erhöhung $\alpha_1 = 15° 47'$ geworden iſt.

Wir erhalten dann für 15° 39′

a) $y = 2{,}4 \,.\, 7102{,}4$ Schritt $[0{,}19580 - (0{,}15879 + 0{,}03842)] =$
$- 24{,}03$ Fuß;

für 15° 47′

b) $y_1 = 2{,}4 \,.\, 7102{,}4$ Schritt $[0{,}19759 - (0{,}15906 + 0{,}03852)] = 0.$

ad a)

Die Bahn, welche 15° 39′ entſpricht, muß nach §. 9 den Horizont auf 4934 Schritt ſchneiden und iſt nach 30 Schritt natürlich ein Beträchtliches unter demſelben.

ad b)

Die an demſelben Ort angezeigte Correctur der Elevation bringt den Treffpunkt in den Horizont, wie es ſein mußte. Hätte man für 15° 47′ ſtatt 4965 Schritt die Entfernung 4964 genommen, ſo würde $y = + 1{,}025$ Fuß herausgekommen ſein. Einem Schritt entſpricht hier eine Elevationsdifferenz von etwa $\frac{3}{5}$ Minuten $= \frac{1}{4}$ Minute. Man ſieht hier einen der Elementarfehler, welche bei ſonſt gleichen Verhältniſſen auf die Wahrſcheinlichkeit des Treffens einwirken, einen Fehler, welcher auch abſolut nicht zu vermeiden iſt.

§. 14.

Zuſammenſtellung der gefundenen Geſetze.

Da die vorläufig wichtigſten Fragen für den 24 Uder behandelt ſind, ſo wollen wir die darauf bezüglichen Formeln noch einmal zuſammenfaſſen und der Vollſtändigkeit wegen die im Anhange zu entwickelnden gleichzeitig hierherſtellen, während es vorbehalten bleibt, nach der Uebertragung auf die andern Kaliber noch ein intereſſantes und wichtiges Geſetz beizubringen für das Verhältniß zwiſchen Ladung und Anfangsgeſchwindigkeit, und eine Anwendung zu machen für die Beſtimmung einer Bahn durch gegebene Coordinatenpaare.

Der Grund für die Abweichung der Conſtanten der bisherigen Formeln von denen der Formeln des Anhanges wird ſpäter angegeben werden.

Es ergiebt sich

1) die Bahngleichung

$$y = x \tang \alpha - \frac{g x^2}{2 c^2 \cos \alpha^2} - \frac{g x^3}{6 k c^2 \cos \alpha^2} \quad \ldots \text{(a)}$$

oder

$$q = u \sin \alpha - r \frac{u^2}{1.2} - \frac{r u^3}{1.2.3},$$

wo

$$q = \frac{y}{k}, \quad u = \frac{x}{k \cos \alpha} \text{ und } r = \frac{g k}{c^2},$$

oder

$$u \sin \alpha - r (e^u - 1 - u). \text{ (Anhang.) (b)}$$

2) Für die Gleichung (a) und ihre Folgerungen ist

$k = 7102{,}4$ Schritt, $\log k = 3{,}85140$ für den 24 Uber,
$k = 5816{,}2$ " $\log k = 3{,}76464$ " " 12 Uber,
$k = 3288{,}$ " $\log k = 3{,}51694$ " " 6 Uber;

für die Gleichung (b) und ihre Folgerungen, also für die Formeln, in welchen e^u vorkommt, ist

$k_1 = 8400$, $\log k = 3{,}92428$ für den 24 Uber,
$k_1 = 6739$, $\log k = 3{,}82861$ " " 12 Uber
$k_1 = 4121$, $\log k = 3{,}61500$ " " 6 Uber.

Anmerkung:

$$\log 2{,}4 . g = 1{,}87506.$$

3) Die Anfangsgeschwindigkeit

$$c = \sqrt{\frac{u (3 + u) g k}{6 \sin \alpha}}.$$

Das Resultat ist gleich dem aus (b) mittelst der „Neuen Ballistischen Tafeln" des Herrn Oberst Otto berechneten:

$$c^2 = \frac{e^u - 1 - u}{u} \cdot \frac{g k}{\sin \alpha}.$$

4) Die Elevation aus

$$\sin 2 \alpha = \frac{g}{c^2 k} \left(k + \frac{x}{3}\right) x, \text{ mittelst } k,$$

wobei für die größten Entfernungen eine geringe Correctur nöthig ist, oder aus den N. B. T. mittelst k_1.

5) Die horizontale Schußweite

$$x = k \cos \alpha \left(-\frac{3}{2} + \sqrt{\frac{9}{4} + \frac{6\, c^2 \sin \alpha}{g\, k}} \right),$$

oder am leichteſten aus einer noch zu beſchreibenden graphiſchen Darſtellung (Figur 3) der Flugbahn aller Kaliber mit allen Ladungen (mittelſt k_1).

6) Der Tangentenwinkel aus

$$\operatorname{tang} \varphi = \operatorname{tang} \alpha - \frac{g\, k}{c^2 \cos \alpha} \left(u + \frac{u^2}{2} \right)$$

oder aus

$$\operatorname{tang} \varphi = \operatorname{tang} \alpha - \frac{g\, k_1}{c^2 \cos \alpha} (e^u - 1),$$

am beſten aus der graphiſchen Darſtellung (Figur 3); als Einfallwinkel aus

$$\operatorname{tang} \varphi = \frac{A \operatorname{tang} (\alpha - \alpha_1)}{A - a},$$

wo

$$\sin (\alpha - \alpha_1) = \frac{g\,(3\,k + 2\,A)\,(A - a)}{6\, c^2 k \cos 2\,\alpha}.$$

7) Die Abſciſſe des Culminationspunktes iſt

$$x = k \cos \alpha \left(-1 + \sqrt{+\frac{2\, c^2 \sin \alpha}{g\, k}} \right)$$

bis 2000 Schritt, oder für alle Entfernungen aus

$$\sin \alpha = r\,(e^u - 1) \text{ (mittelſt } k_1),$$

wo

$$\log u = \log \log \left(\frac{\sin \alpha}{r} + 1 \right) - \log \log e$$

und

$$\log \log e = 0{,}63778 - 1.$$

8) Die Geſchwindigkeit in jedem beliebigen Punkte der Bahn aus

$$v = \frac{c}{1 + \frac{u}{2}} \text{ für kleine,}$$

$$v = \frac{c \cos \alpha}{\cos \varphi \left(1 + \frac{u}{2}\right)} \text{ für alle Entfernungen mittelſt k,}$$

oder aus

$$v = \frac{c \cos \alpha}{\cos \varphi\, e^{\frac{u}{2}}} \text{ mittelſt } k_1,$$

oder aus

$$v^2 = -g \frac{dx}{d\alpha},$$

nach graphiſchen Darſtellungen der Elevationen und der Tangentenwinkel.

9) Die Flugzeit aus

$$\text{a, } t = \frac{2k_1}{c}\left(e^{\frac{u}{2}} - 1\right) \text{ (in Secunden)}$$

$$\text{b, } t = \frac{2k_1}{c} u \left(1 + \frac{u}{4}\right)$$

$$\text{c, } t = \frac{\left(k_1 + \frac{x}{4}\right) x}{c\, k_1}$$

$$\left.\begin{aligned} \text{d, } t &= \frac{x}{c \cos\alpha} \\ \text{e, } t &= \frac{x}{c} \end{aligned}\right\} \text{ für ganz kleine Entfernungen.}$$

10) Aus a leiten wir ab:

$$dt = \frac{2k_1}{c} e^{\frac{u}{2}} \left(\frac{u}{2}\right) = \frac{dx\, e^{\frac{u}{2}}}{c \cos\alpha}.$$

Setzen wir $dx = 50$ Schritt, ſo giebt die Proportion

$$dt : 1 \text{ Secunde} = \frac{50 \cdot 2{,}4}{\cos\varphi} : v$$

im vierten Gliede die Endgeſchwindigkeit, bis etwa 3060 Schritt. (Beiſpiele in §. 17.)

§. 15.

Uebertragung auf andere Kaliber.

Die eben zuſammengeſtellten Geſetze gelten auch für andere Kaliber. Die Prüfung möge nun ausgeführt werden für den eiſernen und den bronzenen 12Uder und die beiden, innerlich ganz gleichen 6Uder, und ſoll in der Berechnung der Anfangsgeſchwindigkeiten beſtehen. Ergeben nämlich alle Entfernungen je einer Ladung gleiche Anfangsgeſchwindigkeiten, ſo ſind alle andern Elemente Folgerungen derſelben, und ihre Berechnung iſt durch bloße Wiederholung zu bewirken. Es ſind aber

hier einige wichtige Bemerkungen vorauszuschicken. Wir setzen für die 12 Uder unverändert $\lambda = 0{,}23$, und da

$$\log \lambda\, k = 3{,}12637$$

für die 12 Uder war, so ergiebt sich

$$k = 5816{,}2 \text{ und } \log k = 3{,}76464.$$

Für die 6 Uder paßt aber dieser Werth von λ nicht. Die Geschoßspitze derselben hat eine von der der 12- und 24 Ugen etwas abweichende Construktionsweise. Wahrscheinlich ist es in Folge derselben, daß die 6 Uge etwas stumpfer wird und deshalb einen größeren Widerstand erregt, wodurch ein größerer Werth von λ erfordert wird, welcher sich gleich 0,33 ergiebt.

Es war für die 6 Uder $\log \lambda\, k = 3{,}03545$, deshalb $k = 3288$ Schritt, $\log k = 3{,}51694$.

Im vorigen Paragraphen ist eine zweite Reihe von Gleichungen aufgeführt, obgleich sie erst später wird entwickelt werden, weil die Gleichung der Flugzeiten nicht direct aus unserer abgekürzten Bahngleichung hergeleitet ist und deshalb schon jetzt auf einen zweiten Werth von k, welchen wir k_1 genannt haben, aufmerksam gemacht werden mußte.

Nachdem die Anfangsgeschwindigkeiten werden berechnet sein, wollen wir mittelst der Werthe von k_1 einige Flugzeiten ermitteln, wobei am vortheilhaftesten sich die in Figur 3 mitgegebene Darstellung der Function $e^u - 1$ würde verwenden lassen, während wir nach

$$t = \left(k_1 + \frac{x}{4}\right) \frac{x}{c\, k_1}$$

rechnen wollen.

§. 16.

Anfangsgeschwindigkeiten der 12- und 6 Uder.

a) Eiserner 12 Uder.

1. Ladung: 2,1 U.

Gegeben:	$x = 1000$ Schritt,	3000 Schritt,
	$\alpha = 2^\circ\ 28'$,	$8^\circ\ 19\frac{1}{2}'$,
gefunden:	$c = 960{,}3$,	960,1 Fuß.

2. Ladung: 1,7 U.

Gegeben:	$x = 1000$ Schritt,	2000 Schritt,
	$\alpha = 3^\circ\ 6'$,	$6^\circ\ 41\frac{1}{2}'$,
gefunden:	$c = 856{,}9$,	850,2 Fuß,

im Mittel $c = 853{,}4$ Fuß.

3. Ladung: 1,1 ℔.

Gegeben: x = 1000 Schritt, 2000 Schritt,
α = 5° 2½', 10° 54',
gefunden: c = 673, 671,6 Fuß.

4. Ladung: 0,8 ℔.

Gegeben: x = 1500 Schritt,
α = 11° 12',
gefunden: c = 566,7 Fuß.

b) Bronzener 12℔der:

1. Ladung: 2,1 ℔.

Gegeben: x = 1000 Schritt, 3000 Schritt,
α = 2° 43', 9° 13',
gefunden: c = 915,2, 914,1 Fuß.

2. Ladung: 1,7 ℔.

Gegeben: x = 1000 Schritt, 2000 Schritt,
α = 3° 24½', 7° 10½',
gefunden: c = 817,4, 821,6 Fuß,
im Mittel c = 819,5 Fuß.

3. Ladung: 1,1 ℔.

Gegeben x = 1000 Schritt, 2000 Schritt,
α = 5° 37', 12° 41',
gefunden: c = 638,1, 640,2.

4. Ladung: 0,8 ℔.

1500 Schritt,
12° 31',
537,9 Fuß.

c) Eiſerner und gußſtählerner 6℔der:

1. Ladung: 1,2. log k = 3,51694.

x = 600, 1200, 1800, 2571,3 3242, 4160, 4806 Schritt.
α = 1° 13', 2° 35', 4° 4', 6° 10', 8° 20', 11° 47', 14° 32',
c = 1060, 1058, 1064, 1062, 1063, 1057, 1056 Fuß.

In Bezug auf die Beſtimmung von λ iſt zu bemerken, daß es ja mittelſt der Methode der kleinſten Quadrate immer möglich iſt, für jede Functionsform Conſtante zu finden, welche ſich mehr oder weniger den Beobachtungswerthen anſchließen, daß es aber hier nothwendig iſt, daß dieſe Conſtanten, aus der Verſuchsreihe einer Ladung ermittelt, allen

Ladungen und gleichzeitig der Analogie mit andern Kalibern genügen. Hierbei sind nun die kleinen Entfernungen am wenigsten geeignet, da es doch nicht möglich ist, ihre Elevationen auf einzelne und selbst halbe Minuten genau zu bestimmen *). Die Größe von c hängt aber wesentlich von sin α ab, weshalb Minuten große Veränderungen hervorbringen. Bringen demnach die kleinen Entfernungen die richtige Anfangsgeschwindigkeit, so liegt das in dem scharfen Richten mit dem Aufsatze und in der Reducirung auf einen gemeinschaftlichen Treffpunkt.

Dieser störende Umstand verschwindet bei größeren Entfernungen. Darum bestimmen diese den Werth von λ, während die kleinen Entfernungen für kleine α den verschiedensten Werthen mit gleichem c entsprechen können.

2. Ladung: 0,9 ℔.

$x = 600$,	1200,	1800 Schritt,
$\alpha = 1° 40\frac{1}{2}'$,	$3° 32'$,	$5° 34\frac{1}{2}'$,
$c = 904$,	906,	908 Fuß.

3. Ladung: 0,7 ℔.

$x = 600$,	1200,	1800 Schritt,
$\alpha = 2° 13'$,	$4° 45'$,	$7° 32\frac{1}{2}'$,
$c = 786{,}7$,	782,2,	784,6 Fuß.

Flugzeiten nach der Formel:

$$t = \left(k_I + \frac{x}{4}\right) \frac{x}{c\, k_1}.$$

Der Vortheil dieser Formel besteht darin, daß bei genügender Annäherung der ganze Ausdruck

$$\left(k_1 + \frac{x}{4}\right)\frac{x}{k_1}$$

für alle Ladungen eines Kalibers constant ist, und daß man ihn nur durch das variable c zu dividiren hat, wobei auf die gleichmäßige Benennung zu achten ist.

*) Ein ganz richtiger Quadrant zeigt $\frac{1}{16}$ Grade gleich $3\frac{3}{4}$ Minuten.

24 ℔ber. $k_1 = 8400$.

Anfangs-geschwindigkeit Fuß	Entfernung Schritt	Flugzeit berechnet Secunden	Flugzeit beobachtet Secunden
	4 ℔ Ladung		
940	1000	2,63	2,60
	1500	4,09	3,94
	2000	5,41	5,31
	3 ℔ Ladung		
803	1000	3,08	2,98
	1500	4,68	4,55
	2000	6,33	6,13
	2,2 ℔ Ladung		
680	1000	3,63	3,55
	1500	5,53	5,37
	2000	7,48	7,20
	1,7 ℔ Ladung		
594	1000	4,16	4,10
	1500	6,33	6,18
	2000	8,56	8,28
	Eiserner 12℔ber. $k_1 = 6739$. 2,1 ℔ Ladung		
960	1000	2,59	2,61
	1500	3,96	3,95
	2000	5,37	5,30
	1,7 ℔ Ladung		
853	1000	2,92	2,87
	1500	4,46	4,35
	2000	6,04	5,85

Anfangs-geschwindigkeit Fuß	Entfernung Schritt	Flugzeit berechnet Secunden	Flugzeit beobachtet Secunden
	1,1 u. Ladung		
672	1000	3,70	3,69
	1500	5,66	5,56
	2000	7,67	7,44
	0,8 u. Ladung		
567	1000	4,39	4,40
	1500	6,86	6,60
	2000	9,09	8,80
	Bronzener 12 Uder. $k_1 = 6739$ *).		
	2,1 u. Ladung.		
915	1000	2,72	2,90
	1500	4,15	4,18
	2000	5,64	5,63
	1,7 u. Ladung		
819	1000	3,04	3,06
	1500	4,64	4,64
	2000	6,31	6,26
	1,1 u. Ladung		
639	1000	3,90	4,00
	1500	5,95	6,03
	2000	8,07	8,05
	0,8 u. Ladung		
538	1000	4,63	4,73
	1500	7,06	7,10
	2000	9,58	9,49

*) Diese Resultate scheinen besonders beachtenswerth.

6 Uber. $k_1 = 4121$.

Anfangsgeschwindigkeit Fuß	Entfernung Schritt	Flugzeit berechnet Secunden	Flugzeit beobachtet Secunden
1,2 U. Ladung			
1060	1000	2,39	2,48
	1500	3,72	3,79
	2000	5,08	5,14
0,9 U. Ladung			
904	1000	2,80	2,83
	1500	4,35	4,31
	2000	5,95	5,83
0,7 U. Ladung			
786	1000	3,22	3,28
	1500	5,00	4,96
	2000	6,85	6,67
0,5 U. Ladung			
652	1000	3,88	3,97
	1500	6,02	6,00
	2000	8,25	8,04

Anmerkung:

1. Die Reihe der Flugzeiten muß offenbar ein Bild der abnehmenden Geschwindigkeiten geben; d. h. denken wir uns wieder die Congruenz zweier Flugbahnen für wenig verschiedene Entfernungen, so wird die Differenz der Flugzeiten angeben, mit welcher Geschwindigkeit der die kürzere Bahn überragende Theil der längeren zurückgelegt ist.

Die Differenz der Bahnlängen wird näherungsweise aus der Differenz der Schußweiten durch Division mit $\cos \varphi$ erhalten; also werden wir bekommen:

$$\Delta t : 1 \text{ Secunde} = \frac{\Delta x}{\cos \varphi} : v,$$

wo man $\cos \varphi$ bei kleinen Entfernungen vernachläſſigen kann.

Die Flugzeiten-Differenz iſt in §. 15 Nr. 9 gegeben:

$$\Delta t = \frac{\Delta x \cdot e^{\frac{n}{2}}}{c \cos \alpha}, \text{ d. h. } v = \frac{c \cos \alpha}{\cos \varphi \, e^{\frac{n}{2}}},$$

wie in §. 11.

Beiſpiel: Für 2000 Schritt und 4 U. finden wir beim 24Uder, wenn $\Delta x = 50$ Schritt,

$$\Delta t = 0{,}1446, \text{ daraus } v = 830 \text{ Fuß}.$$

Hat man alſo ganz genaue Flugzeit-Beobachtungen, ſo dienen dieſe direct zur Ermittelung der Geſchwindigkeiten.

2. Aus der Beachtung der bald größeren, bald kleineren Abweichung der Rechnungs- und der Beobachtungs-Ergebniſſe und in Verbindung mit dem Vorigen erhellt, daß die erſteren den letzteren an Werth nicht nachſtehen können.

§. 18.

Verwandlung von Anfangsgeſchwindigkeit in Ladung.

Drückt man die Ladungen in Zollpfunden aus und die Anfangsgeſchwindigkeit in Fußen, ſo zeigen alle Kaliber folgende höchſt einfache und wichtige Relation zwiſchen Anfangsgeſchwindigkeit und Ladung:

Für preußiſches Pulver verhalten ſich die Anfangsgeſchwindigkeiten wie die 1,8ten Wurzeln aus den Ladungsgewichten.

Da ſich dergleichen empiriſch gefundene Sätze nicht immer theoretiſch beweiſen laſſen, ſo iſt es zunächſt wichtig, daß der aufgeſtellte Satz wahr iſt.

Setzen wir die Anfangsgeſchwindigkeit

beim 24Uder mit 4 U. = 940 Fuß,
beim eiſernen 12Uder mit 2,1 U. = 960 Fuß,
beim bronzenen 12Uder mit 2,1 U. = 915 Fuß,
beim 6Uder mit 1,9 U. = 1060 Fuß,

ſo wird behauptet, daß die Anfangsgeſchwindigkeiten aller Ladungen durch folgende Gleichungen gefunden werden:

Beim 24 ℔ber: beim eisernen 12 ℔ber:

$$c_1 = 940 \sqrt[1,8]{\frac{l_1}{4}}; \qquad c_1 = 960 \sqrt[1,8]{\frac{l_1}{2,1}};$$

beim bronzenen 12 ℔ber:

$$c_1 = 915 \sqrt[1,8]{\frac{l_1}{2,1}}; \qquad c_1 = 1060 \sqrt[1,8]{\frac{l_1}{1,2}} \text{ *).}$$

a) 24 ℔ber:		
l_1 ℔. = 3 ℔.	2,2 ℔.	1,7 ℔.
c_1 = 801,2,	674,3,	584,4 Fuß;
aus der Bahngleichung war		
c_1 = 803,	677,	589 Fuß **).
b) Eiserner 12 ℔ber:		
l_1 ℔. = 1,7 ℔.	1,1 ℔.	0,8 ℔.
$c_1 x$ = 853,7,	670,3,	561,6 Fuß;
aus der Bahngleichung war		
c_1 = 853,	672,	567 Fuß.
c) Bronzener 12 ℔ber:		
l_1 ℔. = 1,7 ℔.	1,1 ℔.	0,8 ℔.
c_1 = 813,7,	638,9,	535,3 Fuß;
aus der Bahngleichung war		
c_1 = 819,	639,	538 Fuß.
d) Beide 6 ℔ber:		
l_1 ℔. = 0,9 ℔.	0,7 ℔.	0,5 ℔.
c_1 = 904,	786,	652 Fuß;
aus der Bahngleichung war		
c_1 = 904,	786,	650 Fuß.

Für die bequeme Verwendung dieses Gesetzes seien folgende Zahlen aufgeführt.

---

*) Die in der Ballistik des Herrn Hauptmann Roerdanß und hier in der Einleitung aufgeführte Anfangsgeschwindigkeit von 1026 Fuß gehört einem besonderen Rohre mit längerem Ladungsraume an.

**) Aus der berichtigten Elevation.

l	$\log \sqrt[1,8]{l}$	l	$\log \sqrt[1,8]{l}$	l	$\log \sqrt[1,8]{l}$	l	$\log \sqrt[1,8]{l}$
0,3	0,70951 — 1	1,5	0,09783	3	0,26507	6,5	0,45162
0,4	0,77892 — 1	1,6	0,11340	3,2	0,28806	7	0,46950
0,5	0,83276 — 1	1,7	0,12803	3,4	0,29527	7,5	0,48615
0,6	0,87675 — 1	1,8	0,14182	3,6	0,30906	8	0,50172
0,7	0,91394 — 1	1,9	0,15486	3,8	0,32210	8,5	0,51634
0,8	0,94616 — 1	2	0,16724	4	0,33448	9	0,53013
0,9	0,97458 — 1	2,1	0,17901	4,2	0,34625	9,5	0,54318
1	0	2,2	0,19023	4,4	0,35747	10	0,55556
1,1	0,02300	2,4	0,21123	4,5	0,36290	10,5	0,56733
1,2	0,04399	2,5	0,22108	5	0,38832	11	0,57855
1,3	0,06330	2,6	0,23054	5,5	0,41131	11,5	0,58928
1,4	0,08118	2,8	0,24842	6	0,43231	12	0,59955

Ist dieser Satz richtig, so würde daraus folgen:

1) daß weder der Drall noch der Ladungsraum auf das **Verhältniß** der Anfangsgeschwindigkeiten für verschiedene Ladungen unter sich irgend einen bedeutenden Einfluß haben*), wenn auch beide absolut genommen die Anfangsgeschwindigkeit bedingen; und also in Verbindung mit dem bisher Entwickelten:
2) daß die Erhebung über dem Horizonte nicht merkbar beeinflußt wird durch die Rotation, sondern fast nur abhängig ist von der Anfangsgeschwindigkeit und der Form und Schwere des Geschosses; oder
3) daß Ladungsraum und Drall der preußischen gezogenen Geschütze bei den verschiedenen Kalibern sehr nahe in einem, durch die Natur bedingten, richtigen mathematischen Verhältnisse stehen.

§. 19.

Anfangsgeschwindigkeit, durch electro-ballistische Versuche ermittelt.

Die Königlich Sächsische Artillerie veröffentlicht im 54. Bande des Archivs für die Offiziere der Königlich Preußischen Artillerie- und Ingenieur-Corps electro-ballistische Versuche zur Ermittelung von Anfangsgeschwindigkeiten. Seite 49 daselbst ist für den gezogenen Gußstahl-6 ℔. der die Anfangsgeschwindigkeit zu 312,39 Meter für 1,3 ℔. Ladung angeben. Das giebt 995,3 Fuß preußisch. Ferner sagt die Anmerkung auf Seite 37, daß die 1,3 ℔. sächsischen Pulvers, weil „die 24 procentige Kohle sich als zu stark gebrannt erwies", noch etwas kleinere Schußweiten gab, als nach der preußischen Schußtafel 1,2 ℔. Ladung.

Verwenden wir die eben gegebene Formel, um die preußische Ladung zu ermitteln, welche der sächsischen von 1,3 ℔. entspricht, so ist

$$\log 995{,}3 = 2{,}99795$$
$$\log 1060 = 3{,}02531$$
$$\text{Differenz} = 0{,}97264 - 1.$$

Dies addirt zu

$$\tfrac{1}{1{,}8}\log 1{,}2 = 0{,}04399$$

giebt 0,01663 und nach der Multiplication mit 1,8 wird 0,02993 der Logarithmus der zu suchenden Ladung in Zollpfunden, worqus

*) Oder dieser Einfluß ist durch unser Gesetz ausgedrückt.

$$l = 1{,}07\ u.^{*})$$

wird.

Das heißt also: $(1{,}2 - 1{,}07\ u.) = 3{,}9$ Lth. bewirken eine Verminderung der Anfangsgeschwindigkeit von $(1060 - 995{,}3)$ Fuß $= 64{,}7$ Fuß beim 6 Uber von 1,2 u. abwärts. Uebrigens bewahrheiten diese Versuche das in Bezug auf die Benutzung kleiner Entfernungen zu ballistischen Rechnungen in §. 16 Gesagte, da die angeführten Werthe von k (dort b) außerordentlich verschieden ausfallen, mit ihnen natürlich die von der Constanten λ.

Ob die in derselben Veröffentlichung gemuthmaßte Verschiedenheit zwischen Richtungs- und Abgangswinkel wirklich stattfindet? Versuche haben diese Ansicht hervorgerufen, Versuche haben das Gegentheil auch gezeigt, die Rechnung läßt sie bezweifeln.

§. 20.

Der Ricochettschuß und der bestrichene Raum.

Die in §. 18 gegebene Relation gestattet die allgemeinsten Verwendungen der Bahngleichung. Um eine derselben anzudeuten, sei der Ricochettschuß betrachtet. Seine Aufgabe ist, durch den Anfangspunkt und zwei gegebene Coordinatenpaare eine Bahn zu bestimmen, d. h. Ladung und zugehörige Elevation anzugeben. Zu dem Ende denke man zunächst die Coordinaten eines Punktes x_1 und y_1 gegeben und den Endpunkt der Bahn für die ganze Schußweite x im Horizonte der Geschützmündung liegend.

Da man wohl nicht über 2000 Schritt ricochettiren wird, so haben wir die Gleichung

$$\sin 2\alpha = \frac{g\left(k + \frac{x}{3}\right)x}{c^2 k}$$

*) Für diejenigen Artillerien, welche denselben preußischen 6 Uber, aber wohl mehrere verschiedene Pulversorten besitzen, kann diese Relation von Wichtigkeit sein. Mittelst dieser einfachen Rechnung wäre es leicht, für alle diese Artillerien die preußische Schußtafel nutzbar zu machen, während sie ohne dieselbe nicht immer zutreffen dürfte, und während es, für jedes Pulver sie zu erschießen, außerordentliche Kosten an Geld und Zeit verursachen würde.

und außerdem

$$y_1 = x_1 \text{ tang } \alpha - \frac{g x_1^2}{2 c^2 \cos \alpha^2} - \frac{g x_1^2}{6 c^2 k \cos \alpha^2},$$

wo im dritten Gliede cos α einmal $= 1$ gesetzt ist, ebenso wie bei der Entwickelung von sin 2α.

Die zweite Gleichung kann man schreiben:

$$\frac{y_1}{x_1} \cos \alpha^2 = \sin \alpha \cos \alpha - \frac{g x_1}{2 c^2} - \frac{g x_1^2}{6 c^2 k}.$$

Substituirt man

$$\sin 2\alpha = \frac{g \left(k + \frac{x}{3}\right) x}{c^2 k}$$

und bedenkt, daß $\frac{y^1}{x_1} = \text{tang } \beta$ gleich der Tangente des sogenannten Terrainwinkels für y_1 ist, so wird

$$\text{tang } \beta \cos \alpha^2 = \frac{g \left(k + \frac{x}{3}\right) x}{2 c^2 k} - \frac{g \left(k + \frac{x_1}{3}\right) x_1}{2 c^2 k}.$$

Dividirt man diese Gleichung durch sin 2α, so wird

$$\text{tg } \beta \text{ cotang } \alpha = \frac{\frac{g \left(k + \frac{x}{3}\right) x - g \left(k + \frac{x_1}{3}\right) x_1}{c^2 k}}{\frac{g \left(k + \frac{x}{3}\right) x}{c^2 k}}$$

und nach gehöriger Reduction

$$\text{cotang } \alpha = \frac{(3k + x) x - (3k + x_1) x_1}{(3k + x) x} \text{ cotang } \beta,$$

eine Formel, welche eine hinreichend einfache Gestalt hat.

Hieraus wird α gefunden und aus

$$c^2 = \frac{g k (3 + u) u}{6 \sin \alpha}$$

die Anfangsgeschwindigkeit, welche nach §. 18 in Ladung übertragen wird.

Iſt nun außer x_1 und y_1 ein zweites Coordinatenpaar x_{11} und y_{11} gegeben, welchem der Terrainwinkel γ entſpricht, ſo haben wir

$$\text{cotang } \alpha = \frac{(3k + x)x - (3k + x_1)x_1}{(3k + x)x} \text{ cotang } \beta$$

$$= \frac{(3k + x)x - (3k + x_{11})x_{11}}{(3k + x)x} \text{ cotang } \gamma.$$

Hieraus iſt die ganze Schußweite x als Wurzel einer quadratiſchen Gleichung leicht zu finden, und durch Subſtitution ihres Zahlenwerthes in cotang α die Elevation α, mit deren Hülfe ſich auch wieder die Anfangsgeſchwindigkeit reſp. die Ladung ergiebt.

Die Beſtimmung des beſtrichenen Raumes führt auf die Löſung einer gemiſchten cubiſchen Gleichung, iſt alſo unbequem. Deshalb zeichne man lieber den letzten Theil der Bahn und entnehme daraus den geſuchten Werth, oder man berechne nach der in der „Abhandlung über das Schießen und Werfen aus Geſchützen" des Herrn Oberſt Neumann (Berlin, 1855) unter §. 225 gegebenen Formel:

$$\frac{x}{2}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{4h}{x \text{ tang } \varphi}}\right),$$

wo x die ganze Schußweite und h die Größe der Ordinate (6 Fuß oder 9 Fuß) bedeuten.

§. 21.

Abhängigkeit der Geſchwindigkeit von der Elevation.

Die Frage, ob die Anfangsgeſchwindigkeit durch die Elevation des Rohres beeinflußt werde, ſoll hier nicht entſchieden werden, wenn es nicht die aus den verſchiedenſten Elevationen errechneten Zahlen von ſelbſt thun; ſondern es ſoll unterſucht werden, ob die Geſchwindigkeit für gleiche Entfernungen unbekümmert um die Verſchiedenheiten der Höhen über dem Horizonte gleich ſeien, und ob, ähnlich wie bei der Parabel, die Geſchwindigkeit des im abſteigenden Aſte der Bahn ſich bewegenden Geſchoſſes wieder zunehme?

Da die Winkel, welche die Bahntangente mit dem Horizonte bildet, im aufſteigenden Aſte bis zu Null abnehmen, ſo läßt die Formel

$$v = \frac{c \cos \alpha}{\cos \varphi \left(1 + \frac{u}{2}\right)}$$

ſofort erkennen, daß für den Werth $\cos \varphi = 1$ die Geſchwindigkeit entſchieden kleiner ſein wird, als für einen Werth, welcher für dieſelbe Entfernung dem Einfallwinkel einer Bahn entſpricht; außerdem gehört zu dem erſteren Werthe nothwendig ein größeres α, alſo ein kleinerer $\cos \alpha$. Es muß mithin für jeden Punkt des aufſteigenden Aſtes die Geſchwindigkeit kleiner ſein, als für einen der Entfernung nach entſprechenden Punkt jeder tiefer liegenden Bahn; d. h. die höhere Elevation bedingt im aufſteigenden Aſte der Bahn eine größere Geſchwindigkeitsabnahme.

Die Geſchwindigkeit, welche für den Endpunkt der Bahn berechnet wird, muß mit der in der Reihe der Endgeſchwindigkeiten enthaltenen natürlich übereinſtimmen. Daraus geht hervor, daß die Abnahme der Geſchwindigkeit im abſteigenden Aſte eine geringere ſein muß, als ſie in der Reihe der Endgeſchwindigkeiten ſich ausdrückt, wenn die Endgeſchwindigkeit überhaupt kleiner iſt, als die Gipfelgeſchwindigkeit; d. h. im abſteigenden Aſte muß für größe Entfernungen die Bewegung der Geſchoſſe der gezogenen Geſchütze mit faſt gleichförmiger Geſchwindigkeit geſchehen, da ſchon die Abnahme der Endgeſchwindigkeiten für dieſe Entfernungen eine ſehr geringe iſt. Hiermit ſtimmt die Reihe der Tangentenwinkel überein, welche in der graphiſchen Darſtellung für den abſteigenden Aſt faſt eine gerade Linie bildet; oder mit andern Worten: die Differenzen $d\varphi$ ſind nahe gleichmäßig, alſo kann die Formel

$$v^2 = - g \frac{dx}{d\varphi}$$

nur ſehr langſam abnehmende Werthe für v ergeben.

Sollte die Geſchwindigkeit im abſteigenden Aſte wieder zunehmen, ſo müßte die dem Nullpunkte entſprechende ein Minimum werden, und man könnte nun den Regeln der Differenzialrechnung gemäß fragen, ob die Function

$$v = \frac{c \cos \alpha}{\cos \varphi \left(1 + \frac{u}{2}\right)}$$

oder allgemeiner

$$v = \frac{c \cos \alpha}{\cos \varphi \, e^{\frac{u}{2}}}$$ überhaupt ein Minimum zuläßt?

Da v hier von den beiden Variablen φ und u abhängig ist, so müßten für den Fall eines Minimum die beiden Differenzialquotienten

$$\frac{dv}{du} \text{ und } \frac{dv}{d\varphi}$$

gleichzeitig zu Null werden.

Nun wird

$$\frac{dv}{du} = -\frac{c \cos\alpha}{2 \cos\varphi \, e^{\frac{u}{2}}}$$

und

$$\frac{dv}{d\varphi} = \frac{c \cos\alpha \sin\varphi}{\cos\varphi^2 \, e^{\frac{u}{2}}}.$$

Die rechte Seite der ersten Gleichung kann offenbar nur Null werden, wenn u unendlich ist, während die der zweiten Gleichung allerdings für $\varphi = 0$ verschwindet.

Das heißt nun: für die Bahn im luftleeren Raume ist die Geschwindigkeit im Culminationspunkte am kleinsten; für den lufterfüllten Raum ist das bei Voraussetzung eines quadratischen Luftwiderstandsgesetzes nicht möglich, sondern es findet eine fortwährende Abnahme der Geschwindigkeit statt. Ein ausgerechnetes Beispiel wird das Gesagte am einfachsten zeigen.

Beim 24 Uber ergeben sich für 4 U. auf 5000 Schritt zunächst folgende Tangentenwinkel:

Entfernung Schritt	Tangentenwinkel	Entfernung Schritt	Tangentenwinkel
0	15° 54′	2630	0
400	14° 4′	3000	2° 38′
800	12° 4′	3400	5° 46′
1200	9° 52′	3800	9°
1600	7° 26′	4200	12° 20′
2000	4° 45′	4600	15° 47′
2400	1° 52′	5000	19° 21′

Die Differenz für 100 Schritt ist bei 5000 Schritt ungefähr 53½ Minuten; dann wird aus

$$v^2 = g \frac{100 \text{ Schritt}}{\sin 53\frac{1}{2}'}$$

die Geschwindigkeit gleich 695 Fuß.

Die ganze Reihe der Geschwindigkeiten wird:

Entfernung Schritt	Geschwindigkeit Fuß	Entfernung Schritt	Geschwindigkeit Fuß
0	940	2630	766
400	909	3000	750,5
800	879	3400	735
1200	851	3800	723
1600	825	4200	713,5
2000	801	4600	707
2400	779,5	5000	702

§. 22.

Die Percussionskraft.

Die Kenntniß der Endgeschwindigkeiten der Geschosse oder auch ihrer Geschwindigkeiten an beliebigen Bahnpunkten ist von Wichtigkeit für die Beurtheilung der Kraft, mit welcher sie auf das Ziel schlagen. Diese Kraft, welche die Percussionskraft genannt wird, ist das Product aus dem Gewichte des Geschosses in die Geschwindigkeit.

Da wir in §. 21 gesehen haben, daß für sehr große Entfernungen die Geschwindigkeiten sehr wenig von einander verschieden sind, z. B. 723 Fuß beim 24 ℔der mit 4 ℔ Ladung auf 3800 Schritt und 702 Fuß auf 5000 Schritt, so geht daraus hervor, daß es vollkommen angemessen erscheint, Ziele, welche hinreichend groß für die Wahrscheinlichkeit des Treffens sind, aus den größten Entfernungen mit gezogenen Geschützen zu beschießen und außer der Sprengwirkung bedeutende Erfolge zu erwarten.

In Bezug auf die Percuſſionskraft zeigt ſich die außerordentliche Ueberlegenheit der größeren Kaliber; denn nicht blos iſt z. B. der 24 Uder viermal ſchwerer als der 6 Uder, ſondern trotz der bedeutend größeren Anfangsgeſchwindigkeit des 6 Uders nehmen ſeine Geſchwindigkeiten auch in viel ſtärkerem Grade ab, wie das am überſichtlichſten aus den unſern Schußtafeln der gezogenen Geſchütze angehängten Endgeſchwindigkeits-Tabellen zu erkennen iſt.

Das Eindringen der Geſchoſſe in feſte Materialien läßt ſich wegen nicht hinreichend erkennbar geſetzmäßig ſich äußernder Thatſachen noch nicht in empiriſch richtige Formeln faſſen. Will man darüber die Erfahrungsergebniſſe für ſphäriſche Geſchoſſe in der Abhandlung über das Schießen und Werfen des Herrn Oberſt Neumann (§. 257 und viele folgende) vergleichen, ſo wird ſich das Geſagte in hohem Maße beſtätigen. Dieſer vollſtändigſten Sammlung aller Beobachtungen, welche hier einſchlagen, würden die in den letzten Bänden des Archivs gegebenen Reſultate engliſcher Verſuche gegen Panzerwände nur hinzuzufügen ſein, um die Unzulänglichkeit aller Formeln erkennen zu laſſen. Das geht natürlich hervor, daß die Geſchoſſe gezogener Geſchütze den ſphäriſch gebildeten gegenüber im Vortheile ſind, namentlich auch in Bezug auf das Zerſchellen der Hohlgeſchoſſe wegen der doch immer faſt maſſiven Spitze der Langgeſchoſſe, obgleich zu beachten iſt, daß bei zu kleinem Anſchlagwinkel ſehr leicht ein Umſchlagen der letzteren ſtattfinden kann, indem der cylindriſche Theil ſeinen Weg frei fortſetzen darf, während die treffende Spitze ſchon abgelenkt wurde *).

Will man das Eindringen der Geſchoſſe auch abhängig machen von dem Verhältniſſe der lebendigen Kräfte, welche den Quadraten der Geſchwindigkeit proportional ſind, ſo bietet dieſer Satz wohl ein allgemeines Urtheil, wonach Geſchoſſe mit größerer Geſchwindigkeit tiefer eindringen; aber er iſt noch immer keine Baſis für die praktiſche Rechnung.

Neben der Härte und Structur des zu durchdringenden Materials und neben der Geſchwindigkeit des Geſchoſſes üben die Form ſeiner Spitze, die Größe ſeines Durchmeſſers, die Beſchaffenheit ſeines Materials, vor-

*) Es dürfte hierbei ſogar geſchehen können, daß die Zünderſchraube ſo zur Seite gedrückt wird, daß der vorwärts eilende Nadelbolzen die Zündung derſelben nicht mehr treffen kann und das Geſchoß deshalb nicht geſprengt wird.

züglich die Größe des Anſchlagwinkels und (hier mehr als bei der Bewegung in der Luft) die Größe des Rotationsmomentes in Verbindung mit der fortſchreitenden Bewegung gewiß ihre beachtenswerthen Einflüſſe. Für das Letztere iſt anzuführen, daß ſich die bohrende Wirkung des Geſchoſſes in Mauerwerk vor der Sprengung deutlich genug gezeigt hat.

In Betreff der Wahrſcheinlichkeit des Treffens wird darauf aufmerkſam gemacht, daß die bis jetzt gefundene Geſetzmäßigkeit derſelben in den den Schußtafeln beigefügten Trefffähigkeits-Tabellen ausgedrückt iſt.

§. 23.

Das conſtante Verhältniß der Anfangsgeſchwindigkeiten für Geſchoſſe von verſchiedenen Dichtigkeiten.

Durch das Auftreten des 48ûders, nachdem dieſe Arbeit ſchon der Druckerei übergeben war, iſt es noch nachträglich geſtattet: 1) das bei den anderen gezogenen Geſchützen gefundene Geſetz für das Verhalten der Anfangsgeſchwindigkeiten gegenüber verſchiedenen Ladungen auch bei dieſem Kaliber als beſtätigt hinzuſtellen *); und 2) ein anderes hinzuzufügen:

Für Geſchoſſe von verſchiedenen Gewichten (Dichtigkeiten) verhalten ſich die Anfangsgeſchwindigkeiten unter ſonſt gleichen Verhältniſſen (gleiche Form ꝛc.) umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den Gewichtszahlen derſelben.

Man hat bekanntlich ſich immer bemüht, für die auf irgend eine Weiſe ermittelten Anfangsgeſchwindigkeiten Formeln aufzuſtellen, welche die Berechnung anderer für andere Verhältniſſe geſtatten ſollten. Alle Verſuche, ſowohl die gegen das balliſtiſche Pendel, als gegen rotirende Scheiben, als auch die electro-balliſtiſchen haben in dieſer Richtung für die glatten Geſchütze Reſultate geliefert, welche in ihrer Allgemeinheit beim Uebertragen auf die Praxis mehr oder minder angezweifelt worden ſind, oder mindeſtens in ſehr beſchränktem Maße für die Aufſtellung allgemeiner Geſetze verwendbar waren.

Es war eben nicht möglich, alle, ſelbſt die erkennbaren, ſtörenden Einflüſſe (Spielraum u. ſ. w.) bei der Benutzung der Verſuche der

*) In der hier beſtimmten Form gilt das Geſetz zunächſt natürlich nur für preußiſches Pulver, Gewicht und Maß, während das zweite Geſetz allgemeine Gültigkeit hat.

Rechnung zu unterwerfen, wenn die Wirklichkeit nicht durch die Einfachheit der Geſetze entgegenkam.

Das eben ausgeſprochene Geſetz iſt zwar auch für ſphäriſche Geſchoſſe unter gewiſſen Verhältniſſen behauptet, wohl aber nie mit ſolcher Beſtimmtheit an gewöhnlichen Schießergebniſſen bewieſen worden, wie es hier geſchehen ſoll, wenn man unter Geſchoſſen von verſchiedener Dichtigkeit ſolche verſtehen will, welche äußerlich congruent, ſich in der Praxis unterſcheiden als Granaten von verſchiedener Wand- reſp. Bleimantel-Stärke, als Vollgeſchoſſe oder Shrapnels.

Der Grund, aus welchem das Geſetz bei den gezogenen Geſchützen ſich beſtimmter ausſpricht, liegt natürlich in der volleren Verwerthung der entwickelten Pulvergaſe und vielleicht in den in Beziehung zu den glatten Geſchützen ſehr kleinen Ladungsverhältniſſen.

Haben zwei congruente Geſchoſſe die Gewichte Q_1 und Q_{11}, welchen für die Ladungen l und L die Anfangsgeſchwindigkeiten c und c_1 reſp. C und C_1 entſprechen, und iſt

$$c : c_1 = l^{\frac{1}{1,8}} : L^{\frac{1}{1,8}},$$

$$c_1 : C_1 = Q_{11}^{\frac{1}{2}} : Q_1^{\frac{1}{2}},$$

ſo iſt

$$c : C_1 = l^{\frac{1}{1,8}} \cdot Q_{11}^{\frac{1}{2}} : L^{\frac{1}{1,8}} \cdot Q_1^{\frac{1}{2}};$$

oder iſt

$$c : C = Q_{11}^{\frac{1}{2}} : Q_1^{\frac{1}{2}}$$

$$C : C_1 = l^{\frac{1}{1,8}} : L^{\frac{1}{1,8}},$$

ſo iſt auch

$$c : C_1 = l^{\frac{1}{1,8}} : Q_{11}^{\frac{1}{2}} : L^{\frac{1}{1,8}} \cdot Q_1^{\frac{1}{2}}.$$

Um die Bedeutung dieſer Proportionen auszuſprechen, nehmen wir beiſpielsweiſe an, es wäre die Elevation der 24 Uder-Granate von dem Gewichte Q für irgend eine Entfernung bei der Ladung l bekannt, und man ſuchte die Elevation des 24 Uder-Vollgeſchoſſes von dem Gewichte Q_{11} für irgend eine andere Entfernung bei der Ladung L, ſo iſt es gleichgültig (nachdem man die Anfangsgeſchwindigkeit c der Granate für l berechnet hat), ob man zuerſt mittelſt des Ladungsgeſetzes die Geſchwindigkeit c_1 für L und dann die geſuchte C_1 des Vollgeſchoſſes mittelſt des Geſchoßgeſetzes berechnet, oder ob man dieſe letztere findet, indem man

zuerſt das Geſchoß- und dann das Ladungs-Geſetz anwendet. Die Reſultate beider Rechnungswege ſind jedenfalls identiſch; ſtimmen ſie dann noch mit der Wirklichkeit überein, ſo ſind beide Geſetze für beide Geſchoſſe richtig.

Für die praktiſche Verwendung laſſen ſich noch leicht folgende beide Relationen herleiten, welche den etwaigen Mangel an Genauigkeit decken durch ihre für das Gedächtniß bequeme Form; nämlich:

1) $\alpha_1 : \alpha_{11} = Q_1 : Q_{11}$ und

2) $x_1 : x_{11} = Q_{11} : Q_1$, d. h.:

1. Bei demſelben Geſchütze verhalten ſich für gleiche Ladungen, gleiche Schußweiten und verſchieden ſchwere Geſchoſſe die Elevationen nahe wie die Gewichte der Geſchoſſe.

2. Die Schußweiten verhalten ſich für gleiche Ladungen, gleiche Elevationen und verſchieden ſchwere Geſchoſſe nahe umgekehrt wie die Gewichte der Geſchoſſe.

Haben nämlich alle Buchſtaben ihre bisherige Bedeutung und beziehen ſich die mit Zeiger verſehenen auf die verſchiedenen Geſchoſſe von den Gewichten Q_1 und Q_{11}; bezeichne ferner a den conſtanten Theil von k, nämlich $\frac{k}{Q}$, und leiten wir

$$c^2 = \frac{(3k + x) x g}{3 a Q \sin 2\alpha}$$

aus der Gleichung für die Elevationen

$$\sin 2\alpha = \frac{\left(k + \frac{x}{3}\right) x g}{c^2 k}$$

ab, ſo iſt

$$1)\ c_1^2 : c_{11}^2 = \frac{(3k_1 + x) x g}{3 a Q_1 \sin 2\alpha_1} : \frac{(3k_{11} + x) x g}{3 a Q_{11} \sin 2\alpha_{11}}$$

worin die Factoren $\frac{x g}{3\alpha}$ für dieſen Fall gleich ſind, ſo daß alſo

$$c_1^2 : c_{11}^2 = \frac{(3 k_1 + x)}{Q_1 \sin 2\alpha_1} : \frac{(3 k_{11} + x)}{Q_{11} \sin 2\alpha_{11}}.$$

Iſt nun

$$c_1^2 : c_{11}^2 = \frac{1}{Q_1} : \frac{1}{Q_{11}},$$

ſo iſt

$$\frac{3\,k_1 + x}{\sin 2\,\alpha_1} = \frac{3\,k_{11} + x}{\sin 2\,\alpha_{11}},$$

wofür man bei nicht großen Elevationen ſetzen kann (ſiehe Beiſpiele b)

$$\sin \alpha_1 : \sin \alpha_{11} = 3\,k_1 + x : 3\,k_{11} + x$$

oder für die Ausführung

$$\sin \alpha_1 : \sin \alpha_{11} = k_1 + \frac{x}{3} : k_{11} + \frac{x}{3}$$

oder ſelbſt

$$\sin \alpha_1 : \sin \alpha_{11} = k_1 : k_{11} = Q_1 : Q_{11},$$

und zum vorläufigen Anhalt

$$\alpha_1 : \alpha_{11} = Q_1 : Q_{11}.$$

2) Setzen wir

$$c_1^2 : c_{11}^2 = \frac{(3\,k_1 + x_1)\,x_1\,g}{3\,a\,Q_1 \sin 2\,\alpha} : \frac{(3\,k_{11} + x_{11})\,x_{11}\,g}{3\,\alpha\,Q_{11} \sin 2\,\alpha}$$

$$= \frac{(3\,k_1 + x_1)\,x}{Q_1} : \frac{(3\,k_{11} + x_{11})\,x_{11}}{Q_{11}},$$

ſo iſt alſo

$$(3\,k_1 + x_1)\,x_1 = (3\,k_{11} + x_{11})\,x_{11}$$

oder

$$x_1 : x_{11} = (3\,k_{11} + x_{11}) : (3\,k_1 + x_1).$$

Da x_1 und x_{11} für mittlere Entfernungen in Bezug auf $3\,k$ immer klein ſind, ſo kann man auch ſetzen

$$x_1 : x_{11} = k_{11} : k_1 = Q_{11} : Q_1.$$

Die durch die Abkürzungen erzeugten Ungenauigkeiten ſtehen bei der wirklichen Rechnung unter einer leicht auszuführenden Controle, und da ſie hier immer kleiner ſind, als die bei glatten Geſchützen unvermeidlichen, ſo möge man ſie wegen des möglichen Nutzens der Formeln geſtatten.

Dieſe ſämmtlichen Sätze ſollen jetzt durch Beiſpiele geprüft werden:

a) Wählt man beim 48 ℔. der für zwei Geſchoßarten von 107 ℔. (A) und 125 ℔. (B) die Zahl $\lambda = 0{,}23$, ſo wird

$k_1 = 8294$ Schritt, $\log k = 3{,}91878$ für A,

$k_{11} = 9690$ „ $\log k = 3{,}98631$ „ B.

Es geſchah ein einziger Schuß des Geſchoſſes mit einer Ladung von 6 ℔. unter der Elevation von 4° 30′. Die Schußweite betrug 1423 Schritt, welcher ein Terrainwinkel von — 6 Minuten, (alſo

$\alpha = 4° 36'$ entſprach. Hieraus ſollen für beliebige Ladungs- und Geſchoß-Gewichte und für beliebige Entfernungen die Elevationen berechnet und mit den wirklich zur Anwendung gekommenen verglichen werden.

Die Anfangsgeſchwindigkeit für 6 ℔. ergiebt ſich $c_I = 840{,}1$ Fuß; daraus wird die für 8 ℔. $c_1 = 984{,}7$ Fuß.

1. Mit 8 ℔. iſt geſchoſſen auf 1442 Schritt bei einer Elevation von $3° 18'$ und einem Terrainwinkel von — 6 Minuten (alſo $\alpha = 3° 24'$). Die Anfangsgeſchwindigkeit $c = 984{,}7$ Fuß ergiebt $\alpha = 3° 23\frac{1}{2}'$.

2. Unter welcher Elevation wird das Geſchoß A eine auf 1250 Schritt mit einem Terrainwinkel von + 1 Minute ſtehende Scheibe mit 9 ℔. Ladung treffen?

Die Anfangsgeſchwindigkeit wird 1051,3 Fuß, die Elevation $2° 33'$, und in der That iſt die Scheibe mit $2\frac{6}{16}$ Grad $= 2° 33\frac{1}{4}'$ getroffen worden.

3. Unter welcher Elevation wird das Geſchoß B mit 8 ℔. Ladung dieſelbe Scheibe treffen?

Die Formel

$$c_1^{\,2} : c_{11}^{\,2} = \frac{1}{Q_1} : \frac{1}{Q_{11}}$$

ergiebt $c_{11} = 911$ Fuß und $\alpha_{11} = 3° 23'$.

Die Formel $\sin \alpha_1 : \sin \alpha_{11} = 3\,k_1 + x : 3\,k_{11} + x$ ergiebt $\alpha_{11} = 3° 23'$, da $\alpha_1 = 2° 55'$ war.

Die Formel $\alpha_1 : \alpha_{11} = Q_1 : Q_{11}$ ergiebt $\alpha_{11} = 3° 24'$; in Wirklichkeit iſt mit $3\frac{6}{16}$ Grad $= 3° 22\frac{1}{2}'$ getroffen worden.

b) Die Granate des 24 ℔.ders (54,3 ℔.) hat bei 4 ℔. Ladung eine Anfangsgeſchwindigkeit $c = 940$ Fuß; wie viel Elevation gebraucht das Vollgeſchoß (67 ℔.) für 2500 Schritt mit 4,2 ℔. Ladung?

Die Granate würde nach dem Ladungsgeſetze bei 4,2 ℔. eine Anfangsgeſchwindigkeit $c_1 = 965{,}8$ Fuß haben; daraus folgt die des Vollgeſchoſſes $C_1 = 869{,}5$ Fuß, und daraus die Elevation $\alpha_{11} = 7° 52\frac{1}{2}'$ Es iſt mit $15\frac{1}{16}$ Zoll Aufſatz $= 7° 50'$ getroffen worden.

Um den Werth der Näherungsformeln erkennen zu laſſen, ſei α_0 auch nach ihnen berechnet.

α_1 würde ſein $6° 29\frac{1}{2}'$; dann giebt die Formel $\sin \alpha_1 : \sin \alpha_{11} = 3\,k_I + x : 3\,k_{11} + x$ den Winkel $\alpha_{11} = 7° 51'$; $\sin \alpha_1 : \sin \alpha_{11} = Q_1 : Q_{11}$ ergiebt $\alpha_{11} = 8°$; $\alpha_1 : \alpha_{11} = Q_1 : Q_{11}$ ergiebt $\alpha_{11} = 8°$.

c)

1. Nach den bereits angeführten sächsischen Versuchen ist die Anfangsgeschwindigkeit der 6 ℔gen Granate (Q_1 = 13 ℔ 17 Lth. 4 Qtch.) C = 312,39 Meter für 1,3 ℔ sächsischen Pulvers; wie groß ist diejenige C_1 des Shrapnels (Q_{11} = 15 ℔ 20 Lth. 2,8 Qtch.)?

$$312{,}39 \sqrt{\frac{Q_1}{Q_{11}}} = 290{,}8,$$

während die Versuche 293,68 Meter ergeben haben. Aus 293,68 würde man für die Granate finden C_1 = 315,5 M. Die Abweichung von 3,11 M. liegt nach derselben Veröffentlichung in den Grenzen der mittleren Fehler der Beobachtungen (Archiv, Band 54, Seite 53), welche nebenher auf 28 M. Entfernung Differenzen von 8,85 M., auf 328 M. von 3,66 M., auf 628 M. von 3,95 M. gezeigt haben, woraus hervorgeht, daß die aus den gewöhnlichen Schießergebnissen errechneten Zahlen ziemlich so viel Vertrauen verdienen, als die Mittelzahlen electro-ballistischer Versuche.

2. Das Shrapnel verlangte für den Treffpunkt im Ziele auf 800 Schritt 1° 53,7; daraus ergiebt sich eine Anfangsgeschwindigkeit von 986'. Die Reduction giebt dann für die Granate 1060 Fuß.

Nach dem bisher Ausgeführten erscheint es möglich, mit einer für die Praxis hinreichenden Genauigkeit alle Fragen der Ballistik der gezogenen Geschütze auf die einfachste Weise zu beantworten und eine Schußtafel aus wenigen Schüssen (zur Bestimmung der Luftwiderstands-Constanten und der Anfangsgeschwindigkeit) für die nachherige Prüfung a priori zu berechnen.

Im Anhange wird sich zeigen, daß dies mit noch größerer Strenge auf einem sehr einfachen Wege durch graphische Construction geschehen kann.

Berichtigung. Es wird gebeten, Seite 19, Zeile 11 zu schreiben: log = 3,00817 statt log = 0,20496.

Anhang.

Analytiſche Herleitung der Formeln.

Es möchte nicht überflüſſig ſein, die Entwickelung der vorſtehend aufgeſtellten Bahngleichung und der übrigen aus der Mechanik entnommenen Gleichungen hier in einfacher Weiſe zu wiederholen, um gleichzeitig den Grad ihrer wiſſenſchaftlichen Berechtigung erkennen zu laſſen.

1. Die Mechanik drückt die Geſchwindigkeit durch die Gleichung $\frac{ds}{dt} = v$ aus, alſo ihre Ab- oder Zunahme, d. h. die Beſchleunigung durch $\frac{dv}{dt}$, ſo daß $\frac{d^2 s}{dt^2} = \frac{dv}{dt}$. Im luſterfüllten Raume tritt zu der Kraft, welcher die Anfangsgeſchwindigkeit entſpricht, und der Schwere noch der Luftwiderſtand. Dieſer, ausgedrückt durch $b v^2$, und die Schwere, welche gleich g iſt, wirken continuirlich, die Pulverkraft als Stoß; alle drei Kräfte aber in verſchiedenen Richtungen. Um ſie gleichzeitig in Rechnung ſtellen zu können, zerlegen wir jede, wie auch die Geſchoßbewegung, in eine horizontale und eine verticale Componente.

Iſt φ der Winkel zwiſchen der augenblicklichen Bewegungsrichtung und dem Horizonte, ſo zerfällt ds in $ds \cos\varphi = dx$ und $ds \sin\varphi = dy$; alſo wird entſprechend

$$\frac{dx}{dt} = v \cos\varphi \text{ und } \frac{dy}{dt} = v \sin\varphi.$$

Es werden dann

$$\frac{d^2 x}{dt^2} \text{ und } \frac{d^2 y}{dt^2}$$

gleich der Beſchleunigung (reſp. Verzögerung) in der Horizontalen reſp. Verticalen ſein.

Von den beiden Kräften, Schwere und Luftwiderſtand, wirkt die erſtere nur in der Richtung der y, die letztere aber auch in der der x; dieſer iſt alſo zu zerlegen in $b v^2 \cos\varphi$ und $b v^2 \sin\varphi$.

Bei der Anwendung auf die Kugel hat dieſe Zerlegung nie Zweifel erregt. Das Langgeſchoß erhält aber hierdurch ſtatt des Widerſtandes

gegen die Flugrichtung zwei andere gegen die Seiten, und zwar einerseits gegen die Vorwärtsbewegung, andererseits gegen das Aufwärtssteigen (im aufsteigenden Aste, im absteigenden umgekehrt).

2. Nimmt man nun als annähernd richtig an, der hintere Theil des Geschosses sei ein vollkommener Cylinder, dessen Seiten der Flugrichtung parallel sind, so können wir jede der genannten Componenten des Luftwiderstandes wieder in zwei andere zerlegen, senkrecht zur Cylinderseite und nach der Richtung derselben.

Die senkrechten Componenten sind dann:

$b\,v^2 \cos\varphi \sin\varphi$ für die x Richtung und

$b\,v^2 \sin\varphi \cos\varphi$ " " y Richtung.

Sie sind einander entgegengesetzt und gleich, werden sich also gegenseitig aufheben, während die beiden andern Componenten $b\,v^2 \cos\varphi$ und $b\,v^2 \sin\varphi^2$ die Seiten des Cylinders entlang gleiten, ohne Widerstand zu treffen. Es bleibt also nur der Widerstand gegen die Spitze übrig, welchen wir ähnlich behandeln können, wie den gegen eine Kugel. Dabei stellt sich aber der bedeutende Vortheil heraus, daß die Spitze nicht, wie die Kugel, um eine Querachse rotirt, welche dazu zwingt, eine durch die Drehung hervorgerufene hebende Kraft anzunehmen.

Da die Pulverkraft als Stoß wirkt, so ist ihre Beschleunigung $= 0$, also wirkt der Luftwiderstand in der Horizontalen ohne jede Mitwirkung einer andern Kraft, d. h. wir haben

$$\frac{d^2 x}{d t^2} = - b\,v^2 \cos\varphi$$

zu setzen. In der Verticalen wirkt mit dem Luftwiderstande die Schwere, also wird

$$\frac{d^2 y}{d t^2} = - b\,v^2 \sin\varphi - g.$$

3. Es kommt nun darauf an, durch Benutzung dieser entwickelten Gleichungen eine Beziehung herzustellen zwischen den Coordinaten der Bahn.

Das geschehe mittelst der Methode der unbestimmten Coefficienten, indem man $y = A\,x + B\,x^2 + C\,x^3 + D\,x^4 + \ldots$ setzt. Bekanntlich läßt sich durch Differenziiren und Dividiren mit $d\,x$ nach und nach immer einer der Coefficienten A, B, C, D . . . . von x befreien.

Setzt man dann für die linke Seite in den aus den Bewegungsgleichungen hergeleiteten Werthen die Anfangswerthe der darin enthaltenen

Größen und für die rechte Seite $x = 0$, so werden A, B, C, D .... nach und nach bestimmt. Wir erhalten also links $\frac{dy}{dx}$, welches gleich tang φ ist, weil

$$\frac{dy}{dx} = \frac{ds \sin\varphi}{ds \cos\varphi}, \text{ dann } \frac{d^2y}{dx^2}, \frac{d^3y}{dx^3} \text{ u. s. w.,}$$

welche letzteren Ausdrücke jetzt zu bestimmen sind.

Wir hatten

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -bv^2 \sin\varphi - g$$

und

$$\frac{dx}{dt} = v\cos\varphi, \text{ also } \frac{dx^2}{dt^2} = v^2\cos\varphi^2;$$

und aus beiden Gleichungen

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{-bv^2\sin\varphi - g}{v^2\cos\varphi^2} = -\frac{b\sin x}{\cos\varphi^2} - \frac{g}{v^2\cos\varphi^2}.$$

4. Durch den Summanden

$$-\frac{b\sin\varphi}{\cos\varphi^2}$$

wird die Rechnung in ihrer Allgemeinheit außerordentlich verwickelt und führt auf die in der Einleitung angedeutete Form, während ohne diesen Ausdruck dieselbe ziemlich einfach wird.

Erfahrungsmäßig ist für gezogene Geschütze b sehr klein, ebenso sin φ selbst für bedeutende Entfernungen; deshalb wird, wenn die zu erhaltende Reihe schnell genug convergiren wird, durch die Vernachlässigung dieses Quotienten kein zu großer Fehler entstehen. Die Bedeutung würde sein, daß wir, in Anbetracht der großen horizontalen Geschwindigkeit gegenüber der verticalen, annehmen, der Luftwiderstand wirke nur der Vorwärtsbewegung der Spitze entgegen. Für bedeutende Elevationen dürfen dann die Formeln allerdings nicht in aller Strenge angewendet werden; indessen ein allgemeines Urtheil werden sie auch dort noch gestatten.

5. Wir erhalten auf diese Weise

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{g}{v^2\cos\varphi^2}.$$

Es ist wünschenswerth, daß v cos φ sich durch die Anfangsgeschwindigkeit und die Elevation ersetzen lasse. Zu dem Zwecke setzen wir statt

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -bv^2\cos\varphi$$

den Ausdruck

$$\frac{d\frac{dx}{dt}}{dt} = \frac{d(v\cos\varphi)}{dt} = -bv^2\cos\varphi,$$

oder

$$\frac{d(v\cos\varphi)}{v\cos\varphi} = -bv\,dt, \text{ und, da } \frac{ds}{dt} = v,$$

$$\frac{d(v\cos\varphi)}{v\cos\varphi} = -b\,ds.$$

Die linke Seite ist nach der Form

$d.\log x = \frac{dx}{x}$ das Differenzial von

$\log(v\cos\varphi)$;

also wird

$$\log(v\cos\varphi) = -b\int ds = -bs + \text{Constante}.$$

Für die Bestimmung der Constanten ist $s = 0$ zu setzen, und für $v\cos\varphi$ der Anfangswerth $c\cos\alpha$, so daß

$$\log(v\cos\varphi) = -bs + \log(c\cos\alpha),$$

also

$$\log(v\cos\varphi) - \log(c\cos\alpha) = -bs,$$

oder

$$\log\frac{v\cos\varphi}{c\cos\alpha} = -bs,$$

und daraus

$$\frac{v\cos\varphi}{c\cos\alpha} = e^{-bs}$$

oder

$$v\cos\varphi = \frac{c\cos\alpha}{e^{bs}},$$

also

$$v^2\cos\varphi^2 = \frac{e^2\cos\alpha^2}{e^{2bs}}.$$

Hierdurch wird

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{-g\,e^{2bs}}{c^2\cos\alpha^2}.$$

Um $\frac{d^2 y}{dx^2}$ auszudrücken, setzen wir

$$d\frac{d^2 y}{dx^2} = d\frac{-ge^{2bs}}{c^2 \cos\alpha^2} = \frac{-ge^{2bs} 2b\, ds}{c^2 \cos\alpha^2}$$

$$= \frac{-2bge^{2bs} dx}{c^2 \cos\alpha^2 \cos\varphi}.$$

Ferner erhalten wir

$$d\frac{d^3 y}{dx^3} = \frac{-2bg}{c^2 \cos\alpha^2} d\frac{e^{2bs}}{\cos\varphi}$$

$$= \frac{-2bg}{c^2 \cos\alpha^2} \cdot \frac{2be^{2bs} ds \cos\varphi + e^{2bs} \sin\varphi\, d\varphi}{\cos\varphi^2},$$

also

$$\frac{d^4 y}{dx^4} = \frac{-4b^2 ge^{2bs}}{c^2 \cos\alpha^2 \cos\varphi^2} - \frac{2bge^{2bs} \sin\varphi\, d\varphi}{c^2 \cos\alpha^2 \cos\varphi^2 dx},$$

wo $\frac{d\varphi}{dx}$ gefunden wird aus

$$\frac{d\frac{dy}{dx}}{dx} = \frac{d\,\mathrm{tang}\,\varphi}{dx},$$

also

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{d\varphi}{dx} \cdot \frac{1}{\cos\varphi^2}$$

oder

$$\frac{d^2 y \cos\varphi^2}{dx^2} = \frac{d\varphi}{dx};$$

da

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{-ge^{2bs}}{c^2 \cos\alpha^2},$$

so wird

$$\frac{d\varphi}{dx} = \frac{-ge^{2bs} \cos\varphi^2}{c^2 \cos\alpha^2},$$

so daß

$$\frac{d^4 y}{dx^4} = \frac{-4b^2 ge^{2bs}}{c^2 \cos\alpha^2 \cos\varphi^2} + \frac{2bg^2 e^{4bs} \sin\varphi}{c^2 \cos\alpha^2 \cos\varphi}.$$

Die folgenden Glieder werden nun natürlich immer complicirter; wir wollen indeß, da die numerischen Werthe schon verschwindend klein

werden und die Zeichen der neu hinzutretenden, mit $\frac{d\varphi}{dx}$ behafteten Ausdrücke wechseln, wodurch ihr Werth summarisch noch geringer wird, nur jedesmal das erste Glied der Entwickelung von $\frac{d^n y}{dx^n}$ in die Rechnung ziehen und hinterher über die Größe des begangenen Fehlers Auskunft geben.

6. Für die Entwickelung der Bahngleichung sollte gesetzt werden

$$y = Ax + Bx^2 + Cx^3 + Dx^4 + \ldots;$$

daraus wird

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tang}\varphi = A + 2Bx + 3Cx^2 + 4Dx^3 + \ldots.$$

Wenn $x = 0$, so wird $\operatorname{tang}\varphi = \operatorname{tang}\alpha$; also ist

$$A = \operatorname{tang}\alpha.$$

Die zweite Differenziirung giebt

$$\frac{-g\,e^{2bs}}{c^2\cos\alpha^2} = \frac{d^2y}{dx^2} = 2B + 6Cx + 12Dx^2 + \ldots$$

Wenn $x = 0$, so wird

$$e^{2bs} = 1 \text{ und } 2B = \frac{-g}{c^2\cos\alpha^2};$$

also wird

$$B = -\frac{g}{2c^2\cos\alpha^2}.$$

Die dritte Differenziirung giebt

$$\frac{-2bg\,e^{2bs}}{c^2\cos\alpha^2\cos\varphi} = \frac{d^3y}{dx^3} = 6C + 24Dx + \ldots.$$

Wenn $x = 0$, so wird $\cos\varphi = \cos\alpha$ und

$$6C = \frac{-2bg}{c^2\cos\alpha^2}; \text{ also wird } C = \frac{-2bg}{6c^2\cos\alpha^2}.$$

Die vierte Differenziirung würde für $x = 0$ ergeben

$$D = \frac{-4b^2g}{24c^2\cos\alpha^4}.$$

Wir erhalten also

$$y = x\operatorname{tang}\alpha - \frac{gx^2}{2c^2\cos\alpha^2} - \frac{2bgx^3}{6c^2\cos\alpha^2} - \frac{4b^2gx^4}{24c^2\cos\alpha^4} - \ldots$$

oder, indem wir, wie früher,

$$\frac{1}{2b} = k, \quad \frac{x}{k \cos \alpha} = u, \quad \frac{y}{k} = q, \quad \frac{g k}{c^2} = r$$

ſetzen,

$$q = u \sin \alpha - \frac{r u^2}{1.2} - \frac{r u^3}{1.2.3} - \frac{r u^4}{1.2.3.4} - \ldots.$$

7. Da die Gleichung für den Endpunkt der Bahn $q = 0$ herausbringen muß, ſo muß die Summe der auf $u \sin \alpha$ folgenden Glieder ſich dem Werthe von $u \sin \alpha$ als Grenze nähern. Jede Reihe convergirt, in welcher der Quotient des $(n+1)$ten Gliedes durch das $n$te Glied ſich einer Grenze nähert, welche kleiner als Eins iſt. Nun giebt die Diviſion des dritten Gliedes durch das zweite Glied $\frac{u}{3}$, des vierten durch das dritte $\frac{u}{4}$, und weiter $\frac{u}{5}$, $\frac{u}{6}$..... Nehmen wir alſo einen ſehr ungünſtigen Fall $x = 5000$ Schritt, $c = 940$ Fuß, $\alpha = 15° 54'$, $k = 7102{,}4$ Schritt, ſo werden dieſe Faktoren 0,2440; 0,1830; 0,1464; 0,1220 u. ſ. w., welche offenbar ſich der Grenze Null nähern.

Wir haben aber ſchon

$$u \sin \alpha = \frac{r u^2}{1.2} + \frac{r u^3}{1.2.3}$$

geſetzt, und es iſt jetzt unſere Aufgabe, Rechenſchaft darüber zu geben, wie groß der Fehler iſt, welcher durch Vernachläſſigung des übrigen Theils der Reihe in der Beſtimmung von k begangen iſt. Bilden wir nämlich wirklich die Reihe, ſo iſt (für 5000 Schritt)

$$q = 0{,}20054 - 0{,}16150 - 0{,}03941 - 0{,}00721 - 0{,}00105 - \ldots$$

Da ſchon die drei erſten Glieder y nahe zu Null machen, ſo zeigt ſich, daß in aller Strenge der Werth von k zu klein iſt, und daß die Summe aller folgenden Glieder auf die drei erſten vertheilt iſt, da ſie neben der Summe derſelben in der That ſehr klein iſt, nämlich in dieſem ungünſtigen Falle etwa den 40ſten Theil beträgt.

Man kann ſich aber leicht überzeugen, und in dem Obigen iſt es geſchehen, daß mit Ausnahme der Beſtimmung des Culminationspunktes dieſe abgekürzte Formel ſehr nahe richtige Reſultate giebt, wie ſie für die glatten Röhre noch keine Rechnung geben konnte.

8. Der negative Theil unſerer Entwickelung läßt ſich zuſammenziehen in

$$r (e^u - 1 - u);$$

wenn wir nun die Gleichung

$$u \sin \alpha = r\,(e^{u} - 1 - u)$$

zu Grunde legen, so ergiebt sich

für den 24 ℔ der $k = 8400$, $\lambda = 0{,}1945$,
" " 12 ℔ der $k = 6739$, $\lambda = 0{,}1985$,
" " 6 ℔ der $k = 4121$, $\lambda = 0{,}2633$.

Wir wollen für $k = 8400$ die Reihe bilden, so wird

$$y = 0{,}16956 - 0{,}13656 - 0{,}02883 = 0{,}00417,$$

d. h. etwa der 40ste Theil des ersten Gliedes oder der Summe der negativen Reihe. Benutzen wir jetzt diesen Werth, um für 1,7 ℔ Ladung des 24 ℔ders beispielsweise die Anfangsgeschwindigkeit zu berechnen aus 3° 44½′ Elevation für 600 Schritt, und 12° 12′ für 1800 Schritt, so wird $c = 596$ resp. 595 Fuß, also genau wie früher aus der abgekürzten Formel, so daß das Gesetz für das Verhältniß der Anfangsgeschwindigkeiten nicht alterirt wird.

Ebenso liefern beide Gleichungen

$$v = \frac{c \cos \alpha}{\cos \varphi \left(1 + \frac{u}{2}\right)} \quad \text{und} \quad \frac{c \cos \alpha}{\cos \varphi \, e^{\frac{u}{2}}}$$

mit ihren bezüglichen Werthen von k ganz gleiche Resultate, z. B. für 5000 Schritt beide 702 Fuß beim 24 ℔ der mit 4 ℔.

Es ist noch anzuführen, daß für die vollständige Reihe die Gleichung der Tangentenwinkel folgende wird

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tang} \varphi = \operatorname{tang} \alpha - \frac{r}{\cos \alpha}\left(e^{u} - 1\right).$$

9. Damit man nun nicht glaube, daß die in 4 und 5 vorgekommenen Abkürznngen nicht erlaubt seien, so ist nur zu bemerken, daß die vollständige Entwickelung auf die für die Bahnen sphärischer Geschosse (ohne Beachtung der Rotation) durch den Herrn Oberst Otto aufgestellte Formel führen würde, und daß man nur nöthig hat, mittelst Tafel VIII der „Neuen Ballistischen Tafeln" das nächste unserer Reihe hinzuzufügende Glied für die Ordinate y zu berechnen, um von der Geringfügigkeit der Abkürzung überzeugt zu sein. Danach würde die Ordinate für den Endpunkt der Bahn von 5000 Schritt um beinahe 2,5′ zu verringern sein; das entspricht einer Verkürzung der Bahn von etwa 6 Schritt. Die Constante ist also um so viel

zu groß, als dieſe 6 Schritt bedingen; für kleinere Entfernungen werden die Verhältniſſe noch günſtiger.

10. Um die Relation zwiſchen v, $d\varphi$ und dx aufzuſtellen (§. 11), differenziirt man die Gleichung

$$\frac{dy}{dx} = \frac{v \sin\varphi}{v \cos\varphi} \text{ nach } t;$$

es wird dann, indem wir

$$\frac{dy}{dx} \text{ durch } y' \text{ und } \frac{dx}{dt} \text{ durch } x'$$

bezeichnen *),

$$\frac{x' dy' - y' dx'}{dt} = \frac{v\cos\varphi\, d(v\sin\varphi) - v\sin\varphi\, d(v\cos\varphi)}{dt}$$

$$= \frac{v\cos\varphi(\sin\varphi\, dv + v\cos\varphi\, d\varphi) - v\sin\varphi(\cos\varphi\, dv - v\sin\varphi\, d\varphi)}{dt}$$

$$= v^2 \frac{d\varphi}{dt}.$$

Außerdem iſt nach (2)

$$\frac{dx'}{dt} = -bv^2\cos\varphi, \text{ wo } \cos\varphi = \frac{x'}{v},$$

$$\frac{dy'}{dt} = -bv^2\sin\varphi - g, \text{ wo } \sin\varphi = \frac{y'}{v};$$

alſo

$$\frac{dx'}{dt} = -bvx', \quad \frac{dy'}{dt} = -bvy' - g$$

und ſomit

$$\frac{x' dy' - y' dx'}{dt} = -bvx'y' - gx' + bvx'y'$$

$$= -gx' = -g\frac{dx}{dt}.$$

Danach iſt

$$v^2 \frac{d\varphi}{dt} = -g\frac{dx}{dt}$$

oder

$$v^2 = -g\frac{dx}{d\varphi}.$$

Dieſe Formel enthält das beſondere Luftwiderſtandsgeſetz nur in der Größe von $d\varphi$, gilt alſo ganz allgemein.

*) Verſuch zu einem Syſtem der Artillerie-Wiſſenſchaft des Herrn Hauptmann von Schirrmann pag. 34.

11. Um auch die Gleichung für die Berechnung der Flugzeit zu finden, ſetzt man

$$v\,dt = ds \text{ und } \frac{v\cos\varphi}{c\cos\alpha} = e^{-bs},$$

alſo

$$dt = \frac{\cos\varphi\, e^{bs}\, ds}{c\cos\alpha}$$

und, da φ hier conſtant iſt, durch Integration

$$t = \frac{\cos\varphi\, e^{bs}}{bc\cos\alpha} + \text{Conſtante.}$$

Für $s = 0$ wird Conſtante $= -\frac{1}{bc}$ und

$$t = \frac{\cos\varphi}{bc\cos\alpha}\, e^{bs} - \frac{1}{bc}.$$

Setzt man wieder $2b = \frac{1}{k}$, ſo wird

$$t = \frac{2k\cos\varphi}{c\cos\alpha}\, e^{\frac{s}{2k}} - \frac{2k}{c};$$

da für mittlere Entfernungen φ nahe $= \alpha$ ſein wird, ſo ſetzt man auch $\cos\varphi = \cos\alpha$ und erhält

$$t = \frac{2k}{c}\,(e^{\frac{s}{2k}} - 1).$$

12. Man würde jetzt nur nöthig haben, die „Neuen Balliſtiſchen Tafeln" zu benutzen, um für unſere gezogenen Geſchütze die vollſtändigſte Löſung des balliſtiſchen Problems in Händen zu haben, und zwar mit einer ungeahnten Annäherung an die Wirklichkeit. Es möge aber geſtattet ſein, einen Erſatz dieſer Tafeln, ſo weit wir ſie gebrauchen, beizubringen, welcher manchem Leſer vielleicht intereſſant ſein dürfte, indem wir alle Flugbahnen, ihrer Beſonderheiten (Kaliber) entkleidet, durch eine einzige Curve darſtellen, welche in Verbindung mit einer zweiten für die Tangentenwinkel und Flugzeiten alle Aufgaben löſen wird.

13. Vergleicht man: „Tafeln für den Bombenwurf" des Herrn Oberſt Otto Seite 17 und 18 oder „Verſuch zu einem Syſtem der Ar-

tillerie-Wiſſenſchaft" des Herrn Hauptmann von Schirrmann Seite 42, ſo findet man, nachdem die Flugbahnen in abſoluten Zahlen ausgedrückt ſind: „Alle möglichen Bahnen, welche zu einem und demſelben Aſymptotenwinkel gehören, ſind nur größere oder kleinere Abſchnitte derjenigen Bahn, welche zu dem für dieſen Aſymptotenwinkel größtmöglichen Elevationswinkel gehört".

Dieſer Gedanke mußte zu dem Verſuche leiten, bei Zugrundelegung unſerer, allerdings nicht abſolut richtigen, aber mehr als in gewöhnlichem Sinne annähernden Gleichung

$$q = u \sin \alpha - r(e^u - 1 - u)$$

die Flugbahn nicht blos, wie es bei denen der Kugeln geſchehen, von k zu befreien, ſondern ſie ganz unabhängig zu machen von den Eigenthümlichkeiten des Schuſſes durch die Form der Gleichung

$$\frac{q}{r} = \frac{u}{r} \sin \alpha - (e^u - 1 - u).$$

Da alle Glieder, welche höhere Potenzen von r und $\sin \alpha$ enthalten, für die Praxis verſchwinden dürfen, ſo läßt ſich der obige Satz dahin ausdehnen:

Die ſämmtlichen Flugbahnen unſerer gezogenen Geſchütze ſind bis zu einer gewiſſen Elevationsgrenze, wenn ſie in abſoluten Zahlen ausgedrückt werden, Theile einer und derſelben Curve, in deren Nullpunkt ihr gemeinſchaftlicher Anfangspunkt liegt.

Dieſe Grenze der Gültigkeit iſt natürlich dieſelbe wie die für die Richtigkeit der Gleichung überhaupt. Da ſie für unſere Geſchütze über die Elevation für 5000 Schritt hinausliegt (für dieſe Entfernung intereſſirt natürlich nur die ſtärkſte Ladung), ſo iſt die Richtigkeit praktiſch unbegrenzt.

14. Zerlegt man den rechts ſtehenden Theil der Gleichung, ſo iſt offenbar $e^u - 1 - u$ der Ausdruck für dieſe ganz unabhängige Curve, und wenn wir ſie zeichnen, wie in Figur 3, ſo iſt $\frac{u}{r} \sin \alpha$ eine gerade Linie, welche für jede beſondere Combination von r und α, das heißt von Ladung, Geſchoß, Geſchütz und Elevation den jedesmaligen Horizont bedeutet.

Durch dieſe Veränderlichkeit des Horizontes kann die Curve eine feſte Lage haben, und der im Vorigen ausgeſprochene Satz heißt nur: Alle Flugbahnen haben einen und denſelben Aſymptotenwinkel, den wir leicht durch folgende Rechnung finden:

Die Gleichung der Tangente iſt, wenn wir

$$m = e^{u} - 1 - u$$

ſchreiben,

$$m - m_1 = (e^{u_1} - 1)(u - u_1)$$

oder

$$m - e^{u_1} + 1 + u_1 = u e^{u_1} - e^{u_1} - u + u_1$$

oder

$$m - e^{u_1} + 1 = u e^{u_1} - u_1 e^{u_1} - u.$$

Setzt man hierin $u_1 = -\infty$, ſo wird

$$m + 1 = u_1 e^{u_1} - u.$$

Nun iſt 0 die Grenze von $u_1 e^{u_1}$, folglich iſt die Gleichung der Aſymptote

$$m = -1 - u,$$

d. h. die Aſymptote bildet mit den Axen einen Winkel von 45° und ſchneidet die Ordinatenachſe in -1.

15. Ohne jetzt die, allerdings intereſſanten, analytiſchen Eigenſchaften dieſer Curve zu verfolgen, wollen wir ſuchen, ſie praktiſch zu verwerthen.

Bezeichnet $\frac{u}{r} \sin\alpha$ den Horizont, ſo ſind die Entfernungen deſſelben von der Curve eben ſo viele Zahlenwerthe $\frac{q}{r}$ für die Ordinaten der wirklichen Flugbahn, während ſein Schnitt mit der Curve den Endpunkt der Bahn bedeutet und als Maß die der zugehörigen Ordinate entſprechende Zahl u angiebt, welche mit $k \cos\alpha$ multiplicirt die wirkliche Schußweite repräſentirt. Die wirklichen Ordinaten werden aus $\frac{q}{r}$ durch Multiplication mit kr erhalten, alſo $y = \frac{q}{r} \cdot kr$, dagegen die zugehörigen Abſciſſen immer nur aus $x = uk \cos\alpha$.

Jetzt bieten ſich von ſelbſt einige andere Schlüſſe. Die größte Ordinate muß dem Culminationspunkte entſprechen, und dieſer wird ge-

funden durch eine dem Horizonte parallele Tangente der Curve, welche man leicht mittelſt Lineal und Dreieck ausführen kann. Wir werden indeſſen eine noch ſchärfere, bequemere Weiſe dafür beibringen.

Außerdem iſt zu bemerken, daß, wenn die Formel für alle Elevationen richtig wäre, ſo müßte für 90° der Ausdruck $\frac{u}{r} \sin \alpha = \frac{u}{r}$ eine und zwar die größte Schußweite in Zahlen geben. Das iſt nun auch in der That ſo; denn bedenken wir, daß $u = \frac{x}{k \cos \alpha}$, alſo hier $= \frac{0}{0}$. ſo iſt ſehr wohl für jeden Werth von y beim ſenkrechten Aufwärtsſteigen wie beim Fallen eine Zahl u nicht blos denkbar, ſondern für die Berechnung der Flugzeiten nothwendig und hier meßbar. Der in Längenmaß ausgedrückte Werth wird natürlich durch Multiplication mit $\cos \alpha = 0$ auch gleich 0. Dieſe Darſtellung würde ein lehrreiches Beiſpiel für die Werthe unbeſtimmter Functionen bilden.

16. Es iſt von großem Vortheil, mit dieſer Curve die der Tangentenwinkel zu verbinden. Machen wir aus

$$\text{tang } \varphi = \text{tang } \alpha - \frac{r}{\cos \alpha} (e^u - 1)$$

die Gleichung

$$\frac{u}{r} \text{ tang } \varphi \cos \alpha = \frac{u}{r} \sin \alpha - u (e^u - 1)$$

und zeichnen die Curve

$$u (e^u - 1) \text{ (Figur 3)}$$

zu der früheren, ſo werden ihre Entfernungen von der Linie $\frac{u}{r} \sin \alpha$ für jede beliebige Bahn dem Ausdrucke $\frac{u}{r}$ tang $\varphi \cos \alpha$ gleich ſein, woraus φ leicht zu berechnen iſt.

Dieſe Curve wird den Horizont $\frac{u}{r} \sin \alpha$ ebenfalls ſchneiden; für den Schnittpunkt wird die genannte Entfernung 0 ſein, d. h. er giebt die Abſciſſe des Culminationspunktes, und ſeine Entfernung von der Curve $e^u - 1 - u$ giebt die Ordinate deſſelben, und zwar geſchieht das mit größerer Schärfe und Sicherheit, als es mittelſt der Conſtruction einer Tangente an die Flugbahncurve geſchehen kann.

Der Theil der Curve $u\,(e^{u} - 1)$, welcher zwiſchen dem Nullpunkte und dieſem Schnittpunkte liegt, wird dem aufſteigenden Aſte, der folgende Theil bis zu der Ordinate, welche dem Endpunkte der Bahn (Schnittpunkte des Horizontes mit der Flugbahn) entſpricht, dem abſteigenden Aſte angehören.

17. Auch die Beſtimmung der Flugzeiten iſt mit der zuletzt gezeichneten Curve leicht zu verbinden.

Schreiben wir ſtatt

$$t = \frac{2k}{c}\,(e^{\frac{u}{2}} - 1)$$

die Gleichung

$$t = \frac{2.2k}{cu}\,\frac{u}{2}\,(e^{\frac{u}{2}} - 1),$$

ſo iſt der für

$$\frac{u}{2}\,(e^{\frac{u}{2}} - 1)$$

abzuleſende Werth nur mit $\frac{4k}{cu}$ zu multipliciren, um die Flugzeit in Secunden zu erhalten.

Wir ſehen alſo, daß die ganze Ermittelung der intereſſirenden Elemente einer Flugbahn mittelſt dieſer graphiſchen Darſtellung ohne jede Tafel außer der logarithmiſchen leicht auszuführen iſt, und daß mittelſt dieſer, wie es ſcheint, neuen und eigenthümlichen Methode für unſere gezogenen Geſchütze die vollſtändige und einfachſte Löſung des balliſtiſchen Problems gegeben iſt.

Beiſpiele werden das Geſagte erläutern.

18. Wir benutzen die in der Balliſtik des Herrn Hauptmann Roerdanß verwendeten Gitterbogen *) und das biegſame Curvenlineal **), nachdem wir die Zahlenwerthe der Functionen berechnet haben, nämlich:

---

*) Vorräthig in der Boſſiſchen Buchhandlung (Stricker) in Berlin.

**) Verfertiger iſt Tiſchlermeiſter Oſſyra in der Königlichen Eiſengießerei in Berlin.

$$u = 0{,}1 \quad 0{,}2 \quad 0{,}3 \quad 0{,}4 \quad 0{,}5$$

$$e^u - 1 - u = 0{,}0052;\ 0{,}0214;\ 0{,}0499;\ 0{,}0918;\ 0{,}1487;$$

$$u\,(e^u - 1) = 0{,}0105;\ 0{,}0443;\ 0{,}1050;\ 0{,}1967;\ 0{,}3244;$$

$$u = 0{,}6 \quad 0{,}7 \quad 0{,}8 \quad 0{,}9 \quad 1$$

$$e^u - 1 - u = 0{,}2221;\ 0{,}3148;\ 0{,}4255;\ 0{,}5596;\ 0{,}7185;$$

$$u\,(e^u - 1) = 0{,}4933;\ 0{,}7104;\ 0{,}9804;\ 1{,}3136;\ 1{,}7185.$$

Es werde 0,1 dargeſtellt durch das Doppelte einer großen Quadratſeite, ſo reichen die Abſciſſen bis 1,05, die Ordinaten bis 1,3 und jede kleine Quadratſeite bedeutet 0,005, ſo daß man einzelne Tauſendtheile bequem, namentlich mittelſt des unter a gegebenen Transverſalmaßſtabes ableſen kann.

Die Curve $e^u - 1 - u$ muß die Abſciſſenaxe im Nullpunkte tangiren, während $u\,(e^u - 1)$ dieſelbe ſchneidet.

19. Es iſt ſelbſtverſtändlich, daß die großen Differenzen der Schußweiten verſchiedene Maßſtäbe verlangen, um mit der gehörigen Genauigkeit aufgefaßt zu werden; deshalb haben wir noch ein zweites Curvenpaar in punktirten Linien gezeichnet, für welche bei den Abſciſſen 0,1 durch 5, bei den Ordinaten durch 10 Quadratſeiten ausgedrückt iſt, ſo daß ein kleines Quadrat 0,002 reſp. 0,001 bedeutet.

Die Genauigkeit iſt abhängig von der Schärfe der Ableſung. Bei den kleineren Entfernungen kann man Fehler von höchſtens 0,0005 machen, bei den großen von 0,002. Danach werden die größten Fehler 4 reſp. 16 Schritt wegen der Multiplication mit k.

Für die großen Entfernungen ſetzen wir in $\frac{u}{r} \sin \alpha$ das $u = 1$, für die kleineren $u = 0{,}4$, und in Figur 3 haben wir die Punkte, welche ſich beziehen auf den 24 Uder mit einem Fähnchen, auf den eiſernen 12 Uder mit zwei, auf den brouzenen 12 Uder mit drei, auf die 6 Uder mit vier Fähnchen bezeichnet.

20. 24 Uder mit 4 U. und 15° 54′.

$$\log r = \log g + \log 2{,}4\,k - 2 \log c;\ \log k = 3{,}92428;$$

$$\log r = 9{,}85308;\ \log \sin \alpha = 9{,}43769;\ u = 1;$$

$$\log \frac{u}{r} \sin \alpha = 9{,}58461;\ \frac{u}{r} \sin \alpha = 0{,}3842.$$

Verbindet man den hierdurch bestimmten Punkt mit 0, so wird die Curve ($e^{u} - 1 - u$) geschnitten in $u = 0{,}6185$ und u ($e^{u} - 1$) in 0,3255. Diese Werthe sind mit $k \cos\alpha$ ($\log\cos\alpha = 9{,}98306$) zu multipliciren, um 4996 Schritt als Schußweite und 2630 Schritt als Abscisse des Culminationspunktes zu finden, während die bloße Rechnung 2629 Schritt ergiebt.

Der Einfallwinkel bestimmt sich aus u ($e^{u} - 1$) für $u = 0{,}6185$ und $\frac{u}{r} \sin\alpha$ oder $0{,}53 - 0{,}237 = \frac{u}{r} \operatorname{tang}\varphi \cos\alpha$, also

$$\operatorname{tang}\varphi = \frac{0{,}293\,r}{0{,}6185\cos\alpha}$$

oder

$$\log\operatorname{tang}\varphi = 9{,}54590, \text{ woraus } \varphi = 19^{\circ}\,22'.$$

Für die Bestimmung der Flugzeit ist $\frac{u}{2} = 0{,}309$ und $\frac{u}{2}(e^{\frac{u}{2}} - 1) = 0{,}113$; dann ist ferner

$$\log\frac{4k \,.\, 2{,}4}{cu} = 2{,}14243$$

und daraus annähernd

$$t = 15{,}7 \text{ Secunden.}$$

21. Wir haben diese Bahn in Figur 4 dargestellt, und zwar in folgender Weise:

Da die Ordinaten als $\frac{q}{r}$ auftreten, so sind auch die Abscissen auf dasselbe Längenmaß gebracht durch Division mit r, also durch $\frac{u}{r}\cos\alpha$. So ergiebt sich die Abscisse für den Endpunkt

$$\frac{0{,}6185\cos\alpha}{r} = 0{,}8343,$$

welche Länge (de) nun proportional $u = 0{,}6185$ getheilt werden muß, um die Ordinaten $\frac{q}{r}$ rechtwinklig daran antragen zu dürfen. Das geschieht am einfachsten, indem man die Länge de zwischen die Ordinaten von 0 und 0,6185 hineinpaßt, wie dies in op ausgeführt ist, so daß die Eintheilung des Gitterbogens direct die Proportionaltheile ergiebt. Die Ordinaten werden dann aus Figur 3 direct mit dem Zirkel übertragen.

Die Ordinate des Culminationspunktes findet man aus

$$0{,}0655\ k\ r\ .\ 2{,}4 = 942 \text{ Fuß}.$$

Analog ergiebt die Zeichnung:

Ladung	Elevation	$\frac{u}{r} \sin \alpha$	aus u	die Schußweite
		24 ℔ber:		
4 ℔.	9° 33′	0,2327	0,401	3320 Schritt
4 ℔	12° 52′	0,3123	0,517	4234 "
2,2 ℔.	5° 56′	0,0298	0,1420	1186 "
		Eiſerner 12 ℔ber:		
2,1 ℔.	16° 12′	0,5087	0,7725	5000 "
1,6 ℔.	6° 23′	0,0599	0,269	1801 "
		Bronzener 12 ℔ber:		
2,1 ℔.	17°	0,4843	0,743	4795 "
		6 ℔ber:		
1,2 ℔.	10°	0,6344	0,912	3701 "

Außerdem ſind in Figur 5 und 6 die Bahnen des 6 ℔bers mit 1,2 ℔. und des 24 ℔bers mit 4 ℔. auf 2000 Schritt zum Vergleiche und zwar im doppelten Höhenmaßſtabe gezeichnet.

22. Durch dieſe Beiſpiele iſt das Verfahren hinreichend erläutert. Mögen jetzt noch einige Worte folgen über die Benutzung zur Anlegung einer Schußtafel. Sind aus einem gezogenen Geſchütze mit einer Ladung auf eine große, eine mittlere und eine kleine Entfernung, alſo etwa auf 4000 bis 5000, 2500 und 1200 Schritt mit der gehörigen Sorgfalt eine Anzahl Schüſſe gethan, ſo werden dieſe genügen, das vorläufige k zu beſtimmen und mittelſt deſſelben die Anfangsgeſchwindigkeit*). Dieſe läßt ſich auf irgend eine andere Ladung übertragen, um dann auch für jede beliebige Entfernung mittelſt der hierfür gegebenen Formeln die Elevation finden und durch Anwendung derſelben von der Richtigkeit der Conſtanten überzeugen zu laſſen. Die ſo gefundenen Anfangsgeſchwindigkeiten und Elevationen dienen dann, den wirklichen Werth der Luftwiderſtands-Conſtanten k_1 zu berechnen. Nun iſt außer Zweifel, daß die „Neuen Balliſtiſchen Tafeln" für die Erreichung der größten Genauigkeit das beſte Mittel bieten.

Es iſt aber nicht zu überſehen, daß die ſonſt ermüdenden Rechnungen dadurch weſentlich erleichtert werden, daß wir bei der Benutzung der

*) Wobei die rein graphiſche Methode von Vortheil iſt.

Curve von einem beliebigen Werthe von u (in den Tafeln ξ) ausgehen und den dem Endpunkte der Bahn entsprechenden von selbst finden. Der Werth von k muß so lange verändert werden, bis Zeichnung und Rechnung genau übereinstimmen. Ist er für eine Ladung richtig gefunden, so ist die ganze Schußtafel für jede Ladung und für jedes dem angewendeten Geschosse äußerlich congruente Geschoß gegeben, und man hat nur nöthig, diese nach der Berechnung zu prüfen.

Zugleich sind alle Elemente der Flugbahn durch die einfachsten Rechnungen gegeben. Sucht man z. B. den bestrichenen Raum für irgend eine Ordinate, so ist diese nur, in Schritten ausgedrückt, durch r zu dividiren und für die gefundene Zahl vom Endpunkte der Bahn rückwärts das zugehörige u abzulesen.

23. Für die Berechnung von Schußtafeln kann das Verfahren noch bedeutend vereinfacht werden, wenn wir, wie dies auch in V. der Neuen Ballistischen Tafeln geschehen ist, setzen

$$\frac{\sin \alpha}{r} = \frac{e^u - 1 - u}{u}.$$

Die durch die Function

$$\frac{e^u - 1 - u}{u}$$

ausgedrückte Curve ist in Figur 7 gezeichnet, und ein Beispiel wird zeigen, mit welchem Vortheil sie zu gebrauchen ist. Man hat

für u = 0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6

$\frac{e^u - 1 - u}{u}$ = 0; 0,0517; 0,1070; 0,1662; 0,2296; 0,2975; 0,3702;

für u = 0,7 0,8 0,9 1,0 1,1 1,2 1,3

$\frac{e^u - 1 - u}{u}$ = 0,4482; 0,5319; 0,6218; 0,7183; 0,822; 0,9334; 1,053.

Wir fanden für den 24Uder mit 4 U. und 15° 54'

$$\frac{\sin \alpha}{r} = 0{,}3842.$$

Für diesen Ordinatenwerth giebt die Curve als Abscisse u = 0,6185, und man erhält u k cos α = 4996 Schritt. Beim 6Uder mit 1,2 U. und 15° 23' ist für eine Ordinate 0,9644 die Abscisse u = 1,2265 und daraus x = 4987 Schritt.

24. Daß dieſe Curve ſich auch für die Berechnung der Anfangsgeſchwindigkeit eignet, iſt leicht einzuſehen, wenn man ſich erinnert, daß

$$r = \frac{g\,k}{c^2}$$

geſetzt iſt.

Wir berechnen alſo

$$u = \frac{x}{k \cos \alpha},$$

alſo z. B. u = 0,6185. Für dieſe Abſciſſe erhalten wir die Ordinate 0,3842. Dieſe Zahl iſt gleich

$$\sin \alpha \; \frac{c^2}{g\,k}.$$

Deshalb iſt

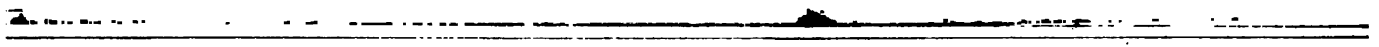
$$2 \log c = 1{,}87506 + 3{,}92428 + 9{,}58456 - 10$$
$$- (9{,}43769 - 10) = 5{,}94621, \text{ woraus } c = 940 \text{ Fuß}.$$

Ebenſo bietet die in §. 8 gegebene Formel für die Elevation ein Mittel, in Verbindung mit dieſer Curve die Elevationen genau zu beſtimmen.

25. Die vorliegende Arbeit enthält unverfälſcht das, was ohne Vorurtheil der Wirklichkeit entnommen iſt; die Bloßlegung ihrer Schwächen iſt deshalb und der Belehrung wegen nicht zu fürchten. Mögen diejenigen Herren Vorgeſetzten, deren Werke ſo oft genannt ſind, in der Benutzung Ihrer Arbeiten nur die Liebe für die Wiſſenſchaft der Waffe erkennen.

Das nächſte Streben wird nun darauf gerichtet ſein, die Einflüſſe des Thermometer- und Barometerſtandes auf die Größe von k zu beobachten.

Prehn,
Oberfeuerwerker in der Garde-Artillerie-Brigade.



Versuch

über die

Elemente der innern Ballistik

der

gezogenen Geschütze

preußischen Systems

von

Martin Prehn,

Ober-Feuerwerker in der Königlich Preußischen Garde-Artillerie-Brigade, kommandirt als Rechner bei der Artillerie-Prüfungs-Kommission.

Mit einer Figurentafel.

Berlin, 1866.

Ernst Siegfried Mittler und Sohn.

Seiner Königlichen Hoheit

dem

Prinzen Karl von Preußen,

General-Feldzeugmeister und Chef der Artillerie,

dem erhabenen Beschützer dieser Waffe und
jeder für sie nützlichen Thätigkeit

mit

Höchstdessen gnädigster Erlaubniß in tiefster Ehrfurcht ganz
unterthänigst zugeeignet

vom

Verfasser.

Vorwort.

Die größten Geister der Artillerie und der abstrakten Wissenschaft haben Theil genommen an dem Streben, in die Geheimnisse der „Inneren Ballistik" einzudringen, und in Betreff der Leistungen der Analysis war man eigentlich vor einem Jahrhundert in der Erkenntniß dessen, was in der Seele unsrer Geschützröhre vorgeht, so weit wie heute. An diese Aufgabe knüpfen sich die berühmtesten Namen, doch die von ihnen aufgestellten Gesetze wurden durch die Unregelmäßigkeit der Versuchsergebnisse nicht immer bewahrheitet.

In der neuern Zeit waren die wichtigsten Arbeiten diejenigen, welche in keiner andern Artillerie mit solcher Feinheit ausgeführt wurden, wie es bei uns geschah durch Offiziere, denen neben dem vorzüglichsten Material auch die höchste Gelehrsamkeit zu Gebote stand. Diese vor etwa einem Decennium ausgeführten preußischen Versuche sind neuerdings durch die Königl. Belgische Artillerie wieder aufgenommen worden. Sie stützen sich auf die Beobachtung der Pulverwirkungen an verschiedenen Stellen des Rohres, indem durch die Uebertragung der Pulverkraft auf einen, in einer seitlich angebrachten Röhre von geringem Durchmesser beweglichen, Cylinder, welcher gegen ein ballistisches Pendel geschossen

wurde, die Beschleunigung in dem Wachsen der Geschoßgeschwindigkeiten gemessen und daraus die bewegende Kraft berechnet wird. An die Stelle des Pendels ist jetzt der elektroballistische Apparat getreten.

Die Kraft des Pulvers direkt zu messen ist eine alte Idee; Rumford führte sie durch Zersprengen von Cylindern oder durch Schießen aus einem kleinen Mörser aus.

Dieselbe Absicht verfolgen die neuesten Arbeiten zweier fremder Artillerie-Offiziere, welche die Pulverkraft dadurch messen wollen, daß sie, wie in unsern Versuchen, das Pulvergas auf einen außerhalb der Seele angebrachten Cylinder wirken lassen, mit diesem aber einen Meißel verbinden, welcher durch den Gasdruck um ein gewisses Maß in eine, mit ihm in direkter Berührung stehende Bronze- oder Kupferplatte eingetrieben wird. Die Größe der treibenden Kraft wird dann abgelesen aus einer Scala, welche dadurch vorbereitet wurde, daß eine bekannte Last dieselben Eindringungstiefen des Meißels hervorbrachte.

Auch durch diese Versuche dürfte der Gegenstand noch nicht abgeschlossen sein, (denn es scheint, als ob die zur Messung verwendeten mechanischen Kräfte keine Repräsentanten der Pulverkraft sein können); deshalb wage auch ich, eine Arbeit vorzulegen, welche allein auf Grund unsrer gewöhnlichen Schießversuche die wichtige Aufgabe zu lösen beabsichtigt. Insofern dieser Versuch, eine arithmetische Beziehung zwischen den Einrichtungen unsrer Röhre und den aus ihnen erlangten Anfangsgeschwindigkeiten aufzustellen und daraus einen Schluß auf die Größe, die Art der Abnahme und die Mittel zum Vergleiche der Pulvergasspan-

nungen zu ziehen, ganz neu ist, hoffe ich auf die Nachsicht, welche die jahrelange Mühe und Ausdauer bei den nicht mittheilbaren Vorarbeiten, die Gefahr der Selbsttäuschung und die Kämpfe gegen den Zweifel über das Gelingen erbitten dürfen.

Sei mir auch gestattet, mich hier meiner ersten Arbeit „Die Ballistik der gezogenen Geschütze" zu erinnern, um meinen Dank auszusprechen für die hohe Auszeichnung seitens meiner Herrn Vorgesetzten, für die schonende Beurtheilung der Kritik*), und für den ehrenden Platz, welchen der Herr Generalmajor Majewski von der Kaiserlich Russischen Artillerie in seinem gelehrten Werke meinem Namen gegeben hat. Auch diejenigen Herren wollen meinen Dank nicht verschmähen, welche durch theilnehmende Zuschrift und Arbeit zu frohem Streben mich ermuntert haben.

So gering mein Verdienst bei dieser Arbeit ist, so ist mir doch mein eigentlicher Zweck gelungen, der Ballistik, welche bisher nur durch einen abschreckenden Aufwand von mathematischen Kenntnissen kultivirt werden konnte, ohne sie herabzuziehen in einem einfachen Kleide manchen Freund zu erwerben.

---

*) Es sei nur bemerkt, daß es bis jetzt weder ein absolut richtiges Luftwiderstandsgesetz giebt, noch Aussicht für die Aufstellung eines solchen vorhanden sein kann, und daß ich nicht in dem Irrthume war, als hätte ich es gefunden. Meine Arbeit ist elementar und praktisch; nur dieses Prädikat möchte ich auch dem vorliegenden Aufsatz wünschen.

Der Verfasser.

Inhalt.

I. Die Verbrennung des Pulvers und die Abhängigkeit der Anfangsgeschwindigkeit von der Größe der Ladung und dem Geschoßgewichte.

Grad der Pulverbrennung in Röhren des Hinterladungssystems . . . . . Nr. 1.
Widerstand des Geschosses . . . . . 2.
Geschwindigkeit der Verbrennung (Preußische Brennversuche) . . . . . 3.
Versuche am ballistischen Pendel (Frankreich) . . 4.
Elektro-ballistische Versuche (Belgien) . . . . . 4.
Abhängigkeitsgesetz zwischen Ladung und Anfangsgeschwindigkeit . . . . . 5.
Erweiterung desselben Gesetzes für Schießwolle (Versuch des K. K. Oesterreichischen Oberstlieutenant v. Uchatius) . . . . . 5.
Einfluß der Rohrlänge . . . . . 5.
Beobachtungsmittel . . . . . 6.

II. Ueber die Wirkung der Pulvergase.

Mariotte'sches Gesetz . . . . . 7.
(Versuch des Nordamerikanischen Major Rodman) 7.
Proportionaler Einschluß der Ladung bei Vorderladern . . . . . 8.
Die Hinterlader als Kammergeschütze . . . . . 9.
Einfluß der Temperatur der Gase . . . . . 11.
Berücksichtigung der Zeit der Verbrennung . . . 13.

Geschwindigkeiten aus kurzen und langen Röhren . Nr. 14.
Vergleich verschieden schnell brennender Schießmittel 14.
(Versuch des Oberstlieutenant v. Uchatius) . . . 14.
Brisante und ballistische Wirkung . . . . . 14.

III. Abhängigkeit der Anfangsgeschwindigkeit von der Länge der Seele, der Länge des gezogenen Theiles der Seele und dem Drall.
Eintheilung der Seele . . . . . 15.
Einfluß des Dralles auf die Geschwindigkeit . . 17.
Allgemeine Form für die Abhängigkeit zwischen der Geschoßgeschwindigkeit und den Theilen der Seele 18.
Verhältniß der Widerstände bei verschiedenen Kalibern 19.
Gesetz für die Geschwindigkeiten aus verschieden langen Röhren desselben Kalibers (bronzene und eiserne 12Uder) . . . . . 20.
Abhängigkeit der Geschwindigkeit von Ladung und Geschoß . . . . . 21.
Aeltere Versuche über die Länge der Geschützröhre 22.

IV. Abhängigkeit der Anfangsgeschwindigkeit von dem Wege, welchen das Geschoß zurückzulegen hat bis zum vollständigen Eintritt in die Züge.
Lagerung des Geschosses . . . . . 23.
Formel für die Berechnung der Geschwindigkeiten aus beliebigen Röhren unsers Systems . . . . 24.
Bestimmung einer allen Kalibern angehörigen Konstanten aus irgend einer bekannten Geschwindigkeit. 25.
Prüfung der Formel am 12Uder, 24Uder, 72Uder, 36Uder, 4Uder . . . . . 26.
Konstante für Ladungen mit Glycerinkapsel . . . 27.

V. Vervollständigung der Geschwindigkeitsformel, das Wachsen der Geschwindigkeiten im Rohre und die dazu gehörigen Zeiten.
Gründe für die Veränderung der Formel . . . 28.
Versuch aus abgeschnittenen 24Udern (Bemerkung über die Luftwiderstandskonstante) . . . . . 29.

Neue Formel und neue Konstante . . . . . Nr. 30.
Prüfung derselben . . . . . 31.
Tabelle der Geschwindigkeiten im 24ll.der und 12ll.der 33.
Tabelle der Geschwindigkeiten im alten und neuen 6ll.der . . . . . 34.
Vollständige Mittheilung des Versuches aus kurzen und langen Röhren, über Pulver und Schießwolle, vom Oberstlieutenant v. Uchatius . . . . . 35.
Analytische Entwicklung einer Formel für die in den Zügen verbrauchten Zeiten . . . . . 36.
Tabelle der Geschwindigkeiten und Zeiten im 24ll.der 37.
Elementare Berechnung der Zeiten . . . . . 38.

VI. Abweichende Erfahrung, Versuch einer weiteren Vervollständigung der Geschwindigkeitsformel und Folgerungen.

Versuch aus einem 24ll.der mit verlängertem Uebergangskonus . . . . . 40.
Versuch mit verkürztem Verbrennungsraum . . 41.
Weitere Vervollständigung der Geschwindigkeitsformel . . . . . 42.
Geschwindigkeiten bei der Bewegung durch den Uebergangskonus . . . . . 44.
Zugehörige Tabelle für den 24ll.der . . . . . 44.
Entwicklung einer Formel für den besten Verbrennungsraum . . . . . 45.
Berechnung der größten Geschwindigkeit unsers 24ll.ders . . . . . 45.

VII. Ueber die Spannungen der Pulvergase.

Reduktion der Massen . . . . . 46.
Formel für die Berechnung der beschleunigenden Kräfte in den Zügen . . . . . 47.
Unabhängigkeit der Spannungen von dem Gewichte der Geschosse und der Reibung . . . . . 48.
Verhältniß zwischen Ladung und Spannungen . . 48.

Gültigkeit des Mariotte'schen Gesetzes für Pulvergase . . . . . Nr. 48.
Versuch über Spannungen bei mehreren Kugeln (Piobert) . . . . . 49.
Allgemeines über den praktischen Werth der Kenntniß der Größe der Spannungen . . . . . 50.
Reduktion der beschleunigenden Kräfte auf den Quadratzoll und Atmosphären . . . . . 51.
Tabelle über $\log \sqrt[1,8]{1}$ . . . . . 52.
Tabelle der beschleunigenden Kräfte im 24stder. . 53.
Analytische Bestimmung eines Wendepunktes der Kurve der beschleunigenden Kräfte . . . . . 54.
Schluß auf die Spannungen während der Bewegung durch den Konus . . . . . 55.
Der Satz von den lebendigen Kräften . . . . 56.
Größe und Gesetz des Widerstandes im Konus . 57.
Tabelle der Spannungen im 24stder . . . . . 57.
Absolute Spannung der Pulvergase . . . . . 57.

VIII. Ueber den Vergleich der Gasspannungen besonderer Schießmittel mit denen des Pulvers.
Schwächung der brisanten Kraft des Pulvers . . 59.
Besprechung der Windbüchse . . . . . 60.
Möglichkeit größerer ballistischer Wirkung bei Schwächung der brisanten Wirkung . . . . . 61.
Schießversuche für den Vergleich von Gasspannungen verschiedener Schießmittel . . . . . 63.

I. Die Verbrennung des Pulvers und die Abhängigkeit der Anfangsgeschwindigkeiten von der Größe der Ladungen und von dem Geschoßgewichte.

1. Die Thatsache, daß bei Vorderladungsgeschützen häufig ein Theil der Ladung unverbrannt aus der Mündung geschleudert wurde, begründet den wesentlichsten Unterschied zwischen dem Vorderladungs- und dem Hinterladungssystem. Wir stellen nämlich den Satz auf: **In den Röhren des Hinterladungssystems ist das Pulver während der ersten Bewegung des Geschosses vollständig in Gas verwandelt und der größte Theil der Bewegung wird hervorgerufen durch die Expansion ein und derselben Gasmenge.** Der unmittelbar hiermit zusammenhängende Unterschied zwischen beiden Systemen ist die Aufhebung oder das Vorhandensein eines Spielraumes*). Diese beiden Rücksichten lassen es vorkommen, daß beim

*) Nach Piobert (Cours d'Artillerie) fand man, daß ein 12℔der bei $1/4$ kugelschwerer Ladung mit $3/4$ Linien Spielraum so viel Geschwindigkeit geben würde, als bei $1/3$ Ladung mit 2 Linien Spielraum. Im 24℔der wird $1/4$ der Geschwindigkeit verloren durch Spielraum und Zündloch.

Ferner nach englischen Versuchen: Wenn der Spielraum größer ist als $1/20$ Kaliber, so entweicht $1/3$ bis $1/2$ des Gases. (Gehler's phys. Wörterbuch.) Es ist hiernach leicht möglich, daß unverbranntes Pulver vor der Kugel aus dem Rohre geschleudert wird. Die große Feuergarbe, die vor der Geschützmündung bei dem Schießen mit sehr starken Ladungen wahrgenommen wird, ist überdies ein Beweis, daß erst hier die vollständige Verbrennung eines ansehnlichen Theils der Pulverladung vor sich geht.

Vorderlader eine Ladung für ein Rohr zu groß sein kann (abgesehen von der Möglichkeit des Sprengens), oder daß das Rohr relativ zu kurz sein kann, andrerseits, daß durch den Spielraum so viel Gas verloren geht, also dem Nutzen entzogen wird, daß eine Ladung für ein Rohr zu klein, oder daß das Rohr relativ zu lang sein kann. Beides findet bei unsern Hinterladern nicht statt. Im Laufe der Arbeit werden wir es zu beweisen suchen; jetzt aber machen wir dafür einige Vorbedingungen: Da die zu Grunde liegenden Erfahrungen sich auf unser Pulver stützen, so verlangen wir natürlich, daß uns nicht die noch nicht hinreichend erkannten Erscheinungen bei der Anwendung von langsam brennenden Präparaten entgegengehalten werden; ferner sprechen wir von solchen Ladungen, welche dem Kaliber nach überhaupt noch gebrauchsfähig sind, also von solchen, die nicht durch den Abzug durch das Zündloch einen wesentlichen Theil ihrer Masse verlieren.

2. Denken wir das Rohr horizontal, so ist die Kugel des Vorderladers (oder ein Geschoß von anderer Form) vorwärts zu bewegen gegen das Hinderniß, welches ihre Schwere und die damit verbundene Reibung bilden. Die Reibung ist dem Gewichte der Kugel proportional, und ist ausgedrückt durch einen echten Bruch als Faktor des Gewichtes. Das Gewicht selbst wird bei horizontaler Lage des Rohres durch die allerkleinste Kraft überwunden; der ganze Widerstand ist die bloße Reibung. Wäre diese nun größer, als sie wirklich ist, so würde der Widerstand höchstens gleich dem Gewichte des Geschosses werden können. Die Folge davon ist, daß schon eine ganz leichte Gasentwicklung das Geschoß in Bewegung setzt, und daß somit die Verbrennung des Pulvers progressiv während der Vergrößerung des Raumes zwischen Geschoß- und Seelenboden geschieht, und daß es vorkommen kann, daß die Verbrennung noch nicht vollständig war, wenn das Geschoß schon die Mündung verließ — das Rohr war dann zu kurz. Andrerseits konnte die Verbrennung des Pulvers auch schon während der Geschoßbewegung eine vollständige sein, aber die Spannungen verloren durch die Raumvergrößerung hinter dem Geschosse, durch das Sinken der Temperatur des Gases und durch das Entweichen desselben neben dem Geschosse so, daß von ihnen als beschleunigender Kraft kein Nutzeffect mehr zu erreichen war — in diesem Falle war das Rohr zu lang. Dies sind bekanntlich die

Gründe, welche unsere Vorfahren für die Feststellung der Rohrlängen geleitet haben.

Stellen wir uns nun einen Vorderladungs-4Uder vor, dessen Geschoß so schwer sein möge wie die preußische Granate = 8,6 U, so dürfen wir unter allen Umständen den Widerstand nur wenige Pfunde setzen (selbst mit Rücksicht auf den Drall u. s. w). Diesen Widerstand kann man leicht messen, indem man das im Rohre befindliche Geschoß zur Mündung herauszieht. In ähnlicher Weise muß sich der Widerstand messen lassen, welchen unsre Granate bietet. Für diesen Zweck haben wir Folgendes versucht: Die 4Uge Granate erhielt eine mit einem Bügel versehene Mundlochschraube, durch den Bügel griff der Haken einer Kette, welche durch die Seele des Rohres reichte, während die Granate im Ladungsraume sich befand; an der Kette wirkte bei senkrechter Stellung des Rohres ein Hebezeug mit Flaschenzug. Der Widerstand des Geschosses war größer als das Gewicht des Rohres (5½ Ctr.), denn das Rohr wurde gehoben ohne Bewegung der Granate. Jetzt wurde zur größern Belastung das Bodenstück des 4Uders durch Ketten mit einem Gußstahl-6Uder (etwa 8 Ctr.) und einem bronzenen kurzen 12Uder (etwa 8 Ctr.) verbunden. Die ganze Last wurde wieder gehoben, wobei aber der 12Uder mit einem Ende auf dem Erdboden blieb. Die Granate wurde aus dem Rohre rückwärts entfernt und zeigte, daß der vorderste Bleiwulst den konischen Theil der Felder aufgenommen habe. Der Versuch wurde wiederholt und dabei das Rohr mit einem 24Uder (50 Ctr.) in Verbindung gebracht; diese Last wurde allerdings nicht gehoben, aber das erste Mal zerriß die Kette, und das zweite Mal zerriß bei Anwendung einer stärkeren Kette ein S-Haken, welcher bei dem feinsten Material einen Durchschnitt von etwa 1/8 Quadratzoll hatte. Das Geschoß zeigte in beiden Fällen wieder den Eindruck des konischen Theiles der Felder. Der Versuch ist dann nicht fortgesetzt worden; er zeigt aber deutlich, daß wir die Bewegung des Geschosses durch den Konus in zwei Theile zu zerlegen haben: 1) die Bewegung von der Länge des konischen Theiles der Felder (1,25 Zoll beim 4Uder) und 2) die Bewegung bis in die vollen Züge gleich der Länge des Theiles vom Bleimantel, welcher bei der Anlage des ersten Wulstes beginnt. Ferner zeigt der Versuch, daß der Widerstand, welcher diesem zweiten Theile der Bewegung sich entgegensetzt, größer ist als

1600 ℔. beim 44der, während nach einem Versuche mit der hydraulischen Presse der wirklich nöthige Druck nicht viel höher gemessen wurde, so daß wir Grund haben, ihn etwa 2000 ℔. zu schätzen. Der Ausspruch, daß hierin der wesentlichste Unterschied zwischen Hinterladern und Vorderladern begründet ist, erscheint somit gerechtfertigt; suchen wir die Folgerungen.

3. Es ist bekannt, daß die Festigkeit der Einschließung die Verbrennung des Pulvers befördert. Wir führen dafür einige Versuche an: Im Archiv (Band 53) sind durch den Herrn Generalmajor Otto Brennversuche mitgetheilt, welche in Verbindung mit dem damaligen Feuerwerksmeister der Artillerie, Herrn Major Broecker, ausgeführt sind; das Resultat war, daß „die in einer Zeitsekunde verbrannte Masse des Pulvers sich bei gehindertem Abzuge des Gases bis zum Drittehalbfachen gegen die beim freien und ungehinderten Abzuge verbrannte gesteigert hat, und sie wird im Geschütz, wo der Widerstand des Geschosses gegen das freie Abströmen auftritt, vielleicht noch um Vieles größer werden".

Piobert erzählt einen durch den General Pelletier im Jahre 1826 zu Metz ausgeführten Versuch als Beispiel von dem enormen Einflusse der schwächsten Hindernisse. Man hatte auf einem leichten hölzernen Tische mehrere Pfund Pulver in Brand gesetzt und dadurch nur einen schwachen Eindruck auf den Tisch hervorgebracht. Man wiederholte den Versuch mit derselben Menge Pulver, welche man aber mit einem Blatte Papier bedeckte, und dieses Mal wurde der Tisch vollständig zerbrochen. Es erscheint also die Wirkung der Reflexion des Gases an den einschließenden Wänden und die Zeit, welche die Trägheit des Widerstandes bietet, von besonderem Einflusse.

Weiter zeigten die Versuche des Herrn Generalmajor Otto: „Am schnellsten ist die Verbreitung des glühenden Pulvergases, wenn zwischen Pulver und Decke noch ein kleiner freier Kanal ist, und anderweiten Erfahrungen zufolge wächst die Verbreitungsgeschwindigkeit der Gase mit der Größe des Querschnittes der gefüllten Pulverrinne".

Chevalier d'Arcy fand 1751, daß eine Lage Pulver von 8 Linien Breite, 4 Linien Höhe und 576 Fuß Länge 75,5 Sekunden brannte, und daß allgemein die Brennzeit der Länge direkt, dem Durchschnitte der Lage umgekehrt proportional sei. Daraus würde für 4 ℔. Ladung beim 24ℓder eine Brennzeit von etwa 0,002 Sekunden hervorgehen, welche im ge-

schlossenen Raume sich noch verkürzen müßte. Nun werden wir später sehen, daß die Zeit, während welcher das Geschoß den ersten Theil seiner Bewegung vollbringt, größer ist als 0,002 Sekunden. Wir stellen dahin, ob man diesen Versuch will als Beweismittel gelten lassen, aber wir glauben es wahrscheinlich gemacht zu haben, daß in unsern Hinterladern das Pulver während der ersten Bewegung des Geschosses vollständig aufgelöst sei, weil diese erste Bewegung eine sehr langsame ist.

Einen indirekten Beweis für diese Behauptung finden wir in der großen Regelmäßigkeit der Schießresultate unsrer Geschütze, wozu natürlich gleichzeitig die Gleichheit der Widerstände und die Aufhebung des Spielraumes beitragen.

4. Wir wollen einige wichtige Versuche in Bezug auf die Leistungen der glatten Geschütze den Erfahrungen an unsern Geschützen gegenüberstellen und benutzen dazu die meisterhafte Arbeit des Herrn Hauptmann v. Schirmann: „Versuch zu einem System der Artillerie-Wissenschaft". Die dort aufgeführten Mittheilungen gehören den Expériences faites à Lorient (1842—1844), welche vorzüglich bestimmt waren, Aufschlüsse über innere Ballistik zu geben. Man erhielt indessen nur allgemeine Sätze aus schwankenden Thatsachen, z. B. „bei zunehmender Ladung nehmen die Anfangsgeschwindigkeiten specifisch schwererer Geschosse in einem größeren Verhältnisse zu, als die specifisch leichterer" — „bei kleinen Ladungen verhalten sich die Anfangsgeschwindigkeiten ungefähr umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den Gewichten der Geschosse; bei größeren Ladungen nimmt dies Verhältniß zu ..."

Bei dem Messen von Anfangsgeschwindigkeiten am ballistischen Pendel fand man z. B. aus einem 30tl der für Vollkugeln bei etwa $1/15$ kugelschwerer Ladung am Recepteur im Durchschnitt 248 Meter, am Geschützpendel 277 Meter, für Hohlkugeln bei etwa $1/10$ kugelschwerer Ladung am Recepteur 305 Meter, am Geschützpendel 348 Meter. In derselben Weise unterscheiden sich die Resultate für größere Ladungen. Diese Unterschiede fallen allerdings dem Pendel zur Last; indessen übersetzt man solche Abweichungen von 40 Metern in 127 preußische Fuß und vergleicht den Unterschied der bei gezogenen Hinterladern gemessenen und der errechneten Zahlen, so sieht man bald, daß bei diesen Geschützen jede Annahme, welche dazu beiträgt die Resultate nothwendig regelmäßig erscheinen zu lassen, fast schon von selbst gerechtfertigt erscheint. Wir

haben aber auch anzuführen, daß mit den Mitteln zur Messung der Anfangsgeschwindigkeiten die Regelmäßigkeit in den Beobachtungsergebnissen glatter Geschütze selbst gewachsen ist. Die ebenfalls durch den Herrn Hauptmann v. Schirmann mitgetheilten Lütticher Versuche (1851) mit dem Apparate von Navez zeigen, „daß bei 1/3 kugelschwerer Ladung die Anfangsgeschwindigkeiten sich umgekehrt verhalten wie die Quadratwurzeln aus den Dichtigkeiten oder den Gewichten der Geschosse".

5. Dieses Gesetz findet auch bei unsern gezogenen Geschützen statt; es würde also allein nicht unsern Satz für die Verbrennung unterstützen können. Dagegen wiederholen wir hier das Gesetz für die Abhängigkeit der Geschwindigkeiten von den Ladungen, welches wir in der „Ballistik der gezogenen Geschütze" erkannt haben, und werden noch einige neue Beweise desselben hinzufügen: „die Anfangsgeschwindigkeiten verhalten sich wie die 1,8. Wurzeln aus den Ladungsgewichten".

Die unten folgenden Rechnungen und die damit verglichenen Thatsachen werden die Bedeutung dieses Satzes zeigen. Jetzt folge zunächst der Versuch mit dem electro-ballistischen Apparate des Königl. Belgischen Lieutenants Herrn Le Boulangé, welcher an einem 24℔der unsers Systems ausgeführt und im 56. Bande des Archivs mitgetheilt ist. Die Geschosse wogen 29,57 Kilogramm oder 59,14 ℔ preuß., die Ladung betrug 2,26 Kgr. oder 4,52 ℔, die mittlere Geschwindigkeit wurde gemessen 299,15 Meter. Unsre auf die Beobachtung der Flugbahnen gestützten Rechnungen haben beim 24℔der bei 54,3 Granat- und 4 ℔ Ladungsgewicht eine Geschwindigkeit von 940 Fuß ergeben. Die Anwendung unsrer Gesetze giebt für die belgischen Verhältnisse

$$v = \left(\frac{54{,}3}{59{,}14}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{4{,}52}{4{,}00}\right)^{1/1{,}8} \cdot 940 \text{ Fuß} = 959{,}5 \text{ Fuß}$$

oder = 301 Meter. Nun sind thatsächlich unter 10 Messungen mit dem Chronographen 4 über 300 Meter ausgefallen.

Wir sind aber auch in der glücklichen Lage, dieses Ladungsgesetz noch weiter ausdehnen zu können, als die Grenzen unsrer eigenen Versuche in Bezug auf die Menge sowohl, als die Art des Schießmittels gestatten. In der „Pulverprobe" des K. K. Oest. Oberstlieutenant Herrn v. Uchatius ist eine Reihe von Anfangsgeschwindigkeiten mitgetheilt, welche einerseits verschiedenen Pulverladungen, andrerseits den aequivalenten Schießwoll-

Ladungen aus einem Gewehrlaufe angehören. Wenden wir auf diese Zahlen das Ladungsgesetz an, und setzen, daß für beide Schießmittel die Anfangsgeschwindigkeit von 747 Fuß resp. der Ladung von 30 Gran Pulver oder 10 Gran Schießwolle entspreche, so erhalten wir die in der letzten Spalte der folgenden Tabelle aufgeführten Zahlen.

Beobachtete Geschwindigkeit für Pulver		für Schießwolle		Berechnete Geschwindigkeit nach der Formel $v = \sqrt[1,8]{\frac{l}{l_1}} \cdot 749.$
Gran	Fuß	Gran	Fuß	Fuß
20	618	6,7	590	593
25	686	8,3	654	672
30	749 —	10	739 —	747 —
35	801	11,7	803	815
40	851	13,3	877	880
45	933	15	949	940
50	1009	16,7	1026	997
55	1073	18,3	1076	1052
60	1104	20	1108	1105
65	1157	21,7	1165	1155
70	1185	23,3	1189	1202
80	1299	26,7	1290	1295
90	1405	30	1460 ?	1382
100	1497	33,3	1460 ?	1466

Nimmt man sich die Mühe, diese Zahlen graphisch darzustellen (Fig. 1), so wird man die gewiß wichtige Ueberzeugung gewinnen, daß es keine Kurve geben dürfte, welche sich näher an die Beobachtungs-

werthe anschlösse als die des Ladungsgesetzes, und daß auch die Beobachtungswerthe dieses Gesetz ohne Zwang ergeben. Auch bei diesen Versuchen war die Bedingung erfüllt, daß durch feste Lagerung des Geschosses der Spielraum aufgehoben, also der Widerstand möglichst groß gemacht wurde.

Den Satz von der Verbrennung drücken wir jetzt dahin aus: Die größere Länge eines gezogenen Rohres unsers Systems erzeugt eine größere Anfangsgeschwindigkeit nicht durch eine immer vollkommnere Verbrennung, sondern nur durch die längere Einwirkung einer und derselben Gasmenge.

6. Es würde uns leichter sein, die besprochenen Sätze wahrscheinlich zu machen, wenn wir sie aufgespart hätten für die Folgerungen der mitzutheilenden Rechnungen. Wir mußten es aber vorziehen, sie vorweg zu geben, um von vornherein die Grundbedingungen klar zu legen, auf welche wir die Betrachtung der innern Ballistik der gezogenen Geschütze gestützt wünschen. Sollten diese Sätze selbst nicht unbedingt wahr sein, so alteriren sie doch durchaus nicht die Rechnungen. Wir halten nämlich dafür, daß man noch lange nicht im Stande sein wird, das vorliegende Problem auf rein analytischem Wege zu lösen, sondern daß bis jetzt das Ziel allein durch Empirie zu erreichen sein dürfte. Für die Empirie haben wir die sicherste Grundlage und die einfachsten Beobachtungsmittel: gute Geschütze, gute Chargirung, eine abgesteckte, nivellirte Schußlinie.

Wir können auch nicht es uns versagen, schon an diesem Orte einige Gedanken auszusprechen, welche ebenfalls als ein Theil der Folgerungen betrachtet werden können, und welche sich auf die Art der Wirkung der Pulvergase beziehen.

II. Ueber die Wirkung der Pulvergase.

7. Freilich haben Arago und Dulong die Richtigkeit des Mariotteschen Gesetzes nur bis zu einem Drucke von 27 Atmosphären bewiesen, und die Physik zeigt, daß bei einigen Gasen ein sehr hoher Druck ein Flüssigwerden herbeiführen könne. Das Letztere ist nun bei den Pulvergasen offenbar nicht der Fall, und deshalb meinen wir, daß es gegen die Verwendbarkeit des Mariotteschen Gesetzes keine Gründe gebe, wenn

die Versuche es gestatten. Das heißt also: die Spannung der Pulvergase ist von der Größe des ausgefüllten Raumes abhängig, oder mit andern Worten: *verschiedene Ladungen haben in proportionalen Räumen gleiche Spannungen.* Die Wirkungen der Spannungen äußern sich durch die Beschleunigungen in der Bewegung der Geschosse; können wir also durch Versuche beweisen, daß die Wirkungen verschieden großer, aber proportional eingeschlossener Ladungen gleiche Beschleunigungen hervorbringen, so dürfen wir rückwärts auf die Verwendbarkeit des Mariotteschen Gesetzes für Pulvergase schließen.

Wir benutzen dazu einen Versuch des Nordamerikanischen Major Herrn Rodman, in welchem die Pulverladung in vier verschiedenen Fällen in einem konstanten Verhältnisse zu der Größe des Verbrennungsraumes stand. In diesen vier Fällen war die Eindringung des Rodman'schen Meißels gleich groß, nämlich in Gewicht ausgedrückt

bei der Ladung von	
℔.	Gran
9402	1772
9608	3610
8786	5742
9916	11817

8. Ein solcher proportionaler Einschluß ist bei Vorderladern eigentlich immer vorhanden, und doch sprengen größere Ladungen ein Rohr, oder sie geben größere Geschwindigkeiten des Geschosses. Diese vollendeten Wirkungen sind nicht zu verwechseln mit den Ursachen. Zunächst wollen wir voraussetzen, die Vorlage biete so viel Widerstand, daß die Ladungen vor der Bewegung verbrannt seien (was allerdings nicht ganz möglich ist), so sprengt die größere Ladung das Rohr, weil sie in ihrem absolut größeren Raume gleichzeitig mehr Punkte angreift. Daß sie die Geschwindigkeit größer macht als die kleinere Ladung, folgt aus folgender Betrachtung: Ein Pfund Pulver befinde sich in einem Cylinder von 4 Zoll Höhe, eine Ladung von 12 ℔ nehme also einen Raum ein von 48 Zoll Höhe. Beide Ladungen seien vollständig verbrannt; 12 ℔ geben also die 12fache Gasmenge. Die Gasmengen haben dann gleiche Spannungen und ertheilen dem Geschosse eine gleiche uranfängliche Geschwindigkeit. Das Geschoß habe jetzt in beiden Fällen einen Weg von 1 Zoll Länge zurückgelegt — wie verhalten sich nun die Spannungen

und ihre Wirkungen? Das Gas von einem Pfunde ist jetzt in 5 Zoll vertheilt, das von 12 ℔ in 49 Zoll, d. h. die Spannung der kleineren Gasmenge ist von $^4/_4$ auf $^4/_5$ gesunken, die der größeren von $^{48}/_{48}$ auf $^{48}/_{49}$, während die Aequivalentzahl $^{48}/_{60}$ sein würde. Daraus folgt natürlich eine schnellere Steigerung der Geschwindigkeit durch die größere Ladung, und doch waren die ersten Spannungen gleich. In der Gleichheit der ersten Spannungen liegt es nun auch, daß die 12fache Ladung nur eine überhaupt größere Geschwindigkeit, nicht aber eine 12mal so große geben kann, wenn das Rohr überhaupt lang genug ist, die größere Ladung auszunutzen. Bei ganz kurzen Röhren wird der Unterschied zwischen großen und kleinen Ladungen viel mehr verschwinden. Dadurch ist für kurze Röhre die Konstruktion einer Kammer, welche die Ladung aufnimmt, begründet. Hier giebt bei der gleichen Größe des freien Raumes zwischen Geschützboden und Geschoß die größere Ladung wirklich eine größere Spannung und deshalb schon durch die erste Einwirkung auf das Geschoß diesem eine größere Geschwindigkeit.

9. Zu den Kammergeschützen gehören unsre Hinterlader. Der Verbrennungsraum ist ein gegebener; die n mal größere Ladung giebt eine n mal größere Spannung und deshalb eine n mal größere erste Geschwindigkeit. Daraus folgt aber nicht, daß auch an der Mündung die Geschwindigkeiten noch in demselben Verhältnisse stehen; es zeigt sich vielmehr, daß dieses Verhältniß ausgedrückt wird durch die 1,8. Wurzel aus dem Verhältnisse der Ladungen, wofür wir zunächst überschläglich die Quadratwurzel setzen wollen. Vergleichen wir nämlich 1 ℔ und 4 ℔ in einem Verbrennungsraum von 6 Zoll Länge; die letztere Ladung möge beim ersten Impulse das Geschoß 4 Zoll forttreiben, die erstere also 1 Zoll. Der freie Raum beträgt dann $6 + 4 = 10$ Zoll und $6 + 1 = 7$ Zoll; die Spannung von 4 ℔ ist also auf $^6/_{10}$ der ursprünglichen, die von 1 ℔ auf $^6/_7$ gesunken. In beiden Fällen würde das Geschoß in dem folgenden Zeittheilchen wieder 4 Zoll und 1 Zoll forteilen, dazu erhält es aber den zweiten Impuls, so daß es bei 4 ℔ noch $4.^6/_{10} = ^{24}/_{10}$, bei 1 ℔ noch $1.^6/_7$ Zoll weiter geht. Die ganzen Wege sind also $4 + 4 + ^{24}/_{10} = ^{104}/_{10}$ resp. $1 + 1 + ^6/_7 = ^{20}/_7$ Zoll. Das Verhältniß der Spannungen ist jetzt schon bedeutend zu Gunsten der kleinen Ladung verändert. Der freie Raum beträgt bei 4 ℔ $6 + ^{104}/_{10} = ^{164}/_{10}$, bei 1 ℔ $6 + ^{20}/_7 = ^{62}/_7$ Zoll. Bei 4 ℔ ist also die Spanaung gefallen in dem Ver-

hältniſſe $^{164}/_{10} : {}^{60}/_{10}$, bei 1 ℔ in dem Verhältniſſe $^{62}/_{7} : {}^{42}/_{7}$. Dies möge ein ungefähres Bild davon geben, warum die Geſchwindigkeiten ſelbſt in Kammergeſchützen nicht nach Verhältniß der Ladungen wachſen können.

10. Aber auch ohne dieſen Grund iſt es nicht möglich, die Geſchwindigkeiten durch Vergrößerung der Ladung über jede beliebige Grenze hinauszubringen. Man bedenke nur, daß der Verbrennungsraum nicht mehr als eine vorher beſtimmte Ladung aufnehmen kann. Soll nun eine größere Ladung verwendet werden, ſo iſt man gezwungen, den Ladungsraum tiefer zu bohren. Was iſt aber der Erfolg? 9 ℔ geben in ihrem Raume genau ſo viel Spannung als 4 ℔ in dem übrigen, die erſte Bewegung wird alſo durch beide Ladungen gleich ſein, und nur ein Rohr von bedeutender Länge kann die große Ladung bedeutend gewinnen laſſen, denn bei dem längeren Verbrennungsraume ſind die ſchwächenden Umſtände größer als bei dem kürzeren. Als Beiſpiel führen wir an, daß ein 24℔der, welcher einen etwas längeren Ladungsraum erhalten hat, als unſer vorſchriftsmäßiger, nach den Schießreſultaten mit 6 ℔ nicht ganz ſo viel Anfangsgeſchwindigkeit giebt als dieſer mit 5,4 ℔. Daraus geht gewiß hervor, daß der Verfaſſer der Broſchüre: „Der preußiſche 6℔der als Einheitsgeſchütz" ſehr leicht ſchließt, wenn er meint, bei der Anwendung ſeines Verſchluſſes durch den Gebrauch von 2 ℔ Ladung die Geſchwindigkeit der Granate auf 2000 Fuß ſteigern zu können. Eine ſolche Zahl würde ſchon der jetzige Ladungsraum nicht erreichen laſſen, geſchweige ein vergrößerter, denn die Rechnung giebt

$$C = 1060 \cdot \sqrt[1,8]{\frac{2}{1,2}} = 1408 \text{ Fuß}.$$

11. Die Pulvergaſe verlieren nicht allein durch die Vergrößerung des freien Raumes hinter dem Geſchoſſe an Spannung, ſondern weſentlich durch das Schwinden ihrer Temperatur. Die Spannungen nehmen deshalb nach Verhältniß einer höheren Potenz des freien Raumes als der erſten ab. Hierin liegt der Grund, daß während der Bewegung des Geſchoſſes das Mariotte'ſche Geſetz nicht in ſeiner Reinheit zur Geltung kommt.

Wir wollen den Einfluß der Temperaturabnahme betrachten. In Bezug auf den Hitzegrad sind die wissenschaftlichen Angaben sehr verschieden; sie sind auch von wenig Bedeutung, da man sie doch nicht messen und somit nicht vergleichen kann. Die Gase geben an die sie umschließenden Wände Wärme ab; sie verlieren dadurch an Spannung. Bei der Vergrößerung des Ausdehnungsraumes vertheilt sich mit der Gasmasse auch die Gaswärme in einem größeren Raume. Minder erwärmte Gase haben niedrigere Spannung, also die bloße Ausdehnung erfordert eine stärkere Abnahme der Spannung, als die einfache Raumvergrößerung sie bedingen würde. Namentlich die vordersten Theile des Gases verlieren durch die stets neue Berührung kalter Wandtheile an Wärme, also an Spannung und vermindern so die Spannung der ganzen Gasmenge, denn die Physik beweist, daß in einem ungleich erwärmten Raume die Spannkraft überall gleich sei.

Diese verwickelten Verhältnisse auszugleichen, versteht nur die Natur — wir müssen uns bescheiden, die Thatsachen zu erkennen, um aus ihnen wenigstens auf die überwiegenden Ursachen schließen zu können.

12. In jedem Lehrbuche der Physik findet man Tabellen, welche die einer steigenden Reihe von Temperaturgraden entsprechende Spannungsreihe der Wasserdämpfe geben, welche in einem bestimmten Raume sich befinden. Man erkennt sogleich, daß die letztere außerordentlich schneller steigt als die erstere, daß also geringe Temperaturverschiedenheiten schon sehr bedeutenden Einfluß haben. In derselben Weise wie bei den Wasserdämpfen nehmen wohl die Spannungen der Pulvergase durch den Verlust an Wärme ab, und wir werden sehen, wie die auf Beobachtungen der Geschwindigkeiten gestützten Rechnungen die auffallend schnelle Abnahme der Spannungen bewahrheiten. Wenn schon die vergrößerte Ausdehnung der Gase eine Erniedrigung der Wärme zur Folge hat, so müßten ja auch die Gase im Verbrennungsraume von verschiedener Wärme sein und also Spannungen haben, welche nicht den einfachen Mengeverhältnissen entsprechen. Theilweise ist das auch der Fall, insofern die Spannungen sich nicht genau wie die Ladungsgewichte, sondern, was wir später sehen werden, wie die Quadrate der 1,8. Wurzeln also wie $1^{\frac{2}{1,8}}$: $1_1^{\frac{2}{1,8}}$ verhalten. Dieser Unterschied ist aber nicht sehr bedeutend, und er kann es nicht sein, weil die Pulvergase nicht

wie die Wasserdämpfe durch eine äußere Wärmequelle ihre Temperatur erhalten, sondern sie in sich tragen durch einen chemischen Prozeß, welcher bei der kleinsten wie bei der größten Ladung mit Feuererscheinung zu Tage tritt. Anders ist es natürlich während der Bewegung des Geschosses durch die vordern Rohrtheile. Hier wirkt ein ähnliches Gesetz wie bei den Dampfspannungen, und wie die Temperatur der äußeren Luft die des Geschützmetalles bestimmt, so liegt hierin der Grund, daß im Winter die Anfangsgeschwindigkeiten etwas kleiner ausfallen als im Sommer, was von erfahrenen Artilleristen längst erkannt ist.

13. So undenkbar klein die Zeiten sind, welche die Pulververbrennung beansprucht, so hat die Erfahrung gezeigt, daß wir sehr wohl in ihnen noch Unterschiede annehmen dürfen. In der Theorie des Verbrennens beobachten wir im Gedanken die Entzündung des einzelnen Kornes und verfolgen den Prozeß bis zur Auflösung der ganzen Masse. Dies hat uns zu der Fabrikation von Pulversorten von verschiedener Körnergröße geführt, und man hat auch wohl (jedoch ohne Erfolg) auf die günstigste Art der Entzündung schließen wollen. Die der Körnergröße nach verschiedenen Pulversorten verlangen verschiedene Brennzeiten; geben sie auch verschiedene Wirkungen? Offenbar entwickeln sie bei gleicher chemischer Zusammensetzung gleiche Gasmengen, welche durch die Schnelligkeit der Entwicklung wohl etwas verschiedene Temperaturen erreichen können; würde indessen vor jeder Bewegung die ganze Pulvermasse in Gas aufgelöst sein, so müßten bis auf diese kleinen Temperaturunterschiede die Spannungen gleich, ebenso auch die ersten Bewegungen der Geschosse und dann auch die ganzen Bewegungen gleich sein.

Das ist indessen selbst in unsern Hinterladern nicht möglich, sonst würden ja kleine Ladungen nicht im Stande sein, das Geschoß zu bewegen; nämlich eine Kraft ist entweder so groß, um eine Bewegung hervorbringen zu können, oder sie ist zu klein und dann verloren. Es kommt also bei der Beurtheilung der Spannungswirkungen nicht allein auf die absolute Höhe der Kraft an, sondern die Zeit, während welcher diese Höhe erreicht wird, ist ein eben so wesentlicher Faktor. In allen Fällen hängt der Druck auf das Geschoß wie auf den Verschluß von dem freien Raume zwischen beiden ab. Wenn nun auch bei der schnelleren Gasentwicklung die erste Bewegung des Geschosses ebenfalls eine schnellere ist, so beginnt sie unter allen Umständen von Null Ge-

ſchwindigkeit an, und die Wege, welche in den erſten, gleichen Zeittheilchen zurückgelegt werden, können für alle Pulverſorten wohl nicht ſehr verſchieden ſein. Gebrauchte alſo ein Präparat zu ſeiner Verbrennung beiſpielsweiſe 0,001 Sekunden, ein anderes aber 0,002 Sekunden, ſo würde das erſtere offenbar in einem kleineren Raume ſeine höchſte Spannung erreichen. Die Folge davon iſt dann eine größere Beſchleunigung der Geſchoßbewegung und in gleicher Weiſe ein höherer Druck auf den Boden der Seele und auf die den Verbrennungsraum umſchließenden Wände. Dieſe Ueberlegenheit wird auch bis zur Mündung reichen und ſich dort in einer größeren Endgeſchwindigkeit des Geſchoſſes äußern. Haben wir jetzt zwei dem Gewichte nach gleiche Schießmittel von verſchiedener chemiſcher Zuſammenſetzung, welche alſo verſchiedene Gasmengen entwickeln z. B. Schießwolle und Pulver, ſo wird das eine von ihnen, hier die Schießwolle, durch ſchnelleres Verbrennen früher als das Pulver die höchſte Spannung erreichen, dem Geſchoſſe in den erſten Stadien der Bewegung alſo größere Beſchleunigungen ertheilen, das Rohr mehr angreifen und auch eine größere Endgeſchwindigkeit des Geſchoſſes zur Folge haben. Ermittelt man dann ſolche Gewichtsverhältniſſe beider Körper, welche aus einem beſtimmten Rohre gleiche Endgeſchwindigkeit geben, z. B. 1 : 3 zwiſchen Schießwolle und Pulver, und überzeugt man ſich durch die Analyſe, daß die Gasmenge von 1 Theil Schießwolle geringer iſt als von 3 Theilen Pulver, ſo folgt unzweifelhaft, daß die Schießwolle dem Raume nach an ihrer Spannung ſchneller einbüßen muß als das Pulver, oder, auf die Bewegung übertragen, daß die Beſchleunigungen des Geſchoſſes durch die erſtere je näher der Mündung um ſo geringer ſein müſſen als durch das letztere. Wenn dennoch die Endgeſchwindigkeiten gleich wurden, ſo mußten die erſten Theile der Bewegung verſchieden ſein und zwar da größer, wo ſpäter der größere Kraftverluſt ſtattfand, alſo bei der Schießwolle, d. h. dieſe mußte im Verbrennungsraume und deſſen Nähe heftiger auf das Geſchützmetall gewirkt haben als das Pulver.

14. Würde das dem Verſuche unterliegende Rohr länger geweſen ſein, ſo würde bei dieſen ſelben Gewichtszahlen die durch die Schießwolle bewirkte Endgeſchwindigkeit kleiner geworden ſein müſſen als beim Pulver.

Hieraus geht hervor, daß es sehr wohl Zustände geben kann, in welchen ein langsamer brennendes Schießmittel durch seine größere Gasmenge längere Zeit eine hinreichend hohe Spannung behält, um unserm Pulver gegenüber aus sehr langen Röhren größere Geschoßgeschwindigkeiten erzielen zu lassen und dennoch weniger heftig auf den Boden zu wirken, diesen also gewissermaßen zu entlasten.

Aus ganz kurzen Röhren muß das schneller sich entwickelnde Gas die größere Geschwindigkeit geben. Zum Beweise führen wir aus der „Pulverprobe" des Herrn Oberstlieutenant v. Uchatius folgende Zahlen an: Aus einem 63 Kaliber langen Gewehrlaufe erhielt man durch 21 Gran Schießwolle eine Endgeschwindigkeit von 1145 Fuß, durch 65 Gran Gewehrpulver bei demselben Verbrennungsraume ungefähr eben so viel, nämlich 1136 Fuß. Als man den Lauf auf 10 Kaliber abgeschnitten hatte, ergab dieselbe Schießwollladung 749 Fuß, die Pulverladung aber nur 500 Fuß. Es war also unzweifelhaft trotz der gleichen Endgeschwindigkeit aus dem längeren Rohre der Druck auf den Boden durch das Schießwollgas bedeutend größer als durch das Pulvergas.

Diese verschiedene Aeußerung der Spannungswirkungen auf die umschließenden Wände, welche durch die verschiedene Dauer der Verbrennung bedingt wird, nennt man die brisante Wirkung eines Schießmittels im Gegensatze zu der ballistischen Wirkung, welche man durch die Geschoßgeschwindigkeit an der Mündung erkennt.

Die erstere ist also das Erzeugniß der Schnelligkeit der Entwicklung und der absoluten Höhe der Spannung des Gases; die letztere ist die Summe der Wirkungen aller verschiedenen Spannungsgrade auf die Bewegung des Geschosses.

Es würde durchaus falsch sein, hierin eine verschiedene Wirkung der Gase nach rückwärts oder vorwärts erkennen zu wollen; nach allen Richtungen ist die Spannung gleich, (abgesehen von den noch nicht bekannten Schwingungen), nur ist sie bei der schnelleren Verbrennung wegen des kleineren Raumes, in welchem sie stattfindet, absolut größer.

Bei einem und demselben Schießmittel würde man sagen müssen, die Spannung seiner Gase wird absolut größer, wenn die ersten Theile der Bewegung so langsam sind, daß die Verbrennung in einem kleineren Raume stattfindet. Die Bewegung ist nun um so langsamer, je schwerer das Geschoß und je größer der ihm entgegengesetzte Widerstand ist, folglich werden in den Fällen, wo die vollständige Verbrennung während

der ganzen Bewegung des Geſchoſſes erſt ſtattfindet, Geſchoßgewicht und Widerſtand mit der Vergrößerung des freien Raumes zuſammen die Höhe der Spannung beſtimmen. Je kleiner der Weg des Geſchoſſes iſt, bis zu deſſen Beendigung die Verbrennung vollbracht iſt, um ſo briſanter wird die Kraft ſich äußern. Das beweiſt, daß die Hinterlader mehr briſant angegriffen werden als die Vorderlader. Iſt aber die ganze Gasmaſſe einmal vorhanden, ſo iſt leicht denkbar, daß die Höhe der Spannungen nur von der Größe des Ausdehnungsraumes abhängig iſt.

III. Abhängigkeit der Anfangsgeſchwindigkeit von der Länge der Seele, der Länge des gezogenen Theiles der Seele und dem Drall.

15. Unſre Aufgabe iſt jetzt, die Aufſtellung eines empiriſchen Zahlengeſetzes für die Größe der Geſchwindigkeiten aus verſchieden langen Röhren zu verſuchen, die etwa gefundene Formel nach und nach zu vervollſtändigen und dann am Schluße der Rechnungen die Folgerungen der Formeln mit der einfachen Spekulation zu vergleichen. Die Seele unſrer gezogenen Hinterladungsröhre beſteht aus einem hinteren Cylinder, einem Uebergangskonus und einem vorderen gezogenen Cylinder. An dem hinteren Ende des Letzteren bilden die Felder der Quere nach ſcharfe Kanten und verlaufen von dort nach rückwärts in den Uebergangskonus, deſſen übriger, nicht gezogener Theil, mit dem hintern Cylinder den Ladungsraum bildet. Dieſer (Fig. 2) zerfällt in den Theil, welcher das Geſchoß aufnimmt, und deſſen Länge gleich der Entfernung der Mitte des vorderſten Bleiwulſtes oder einer andern Kreislinie, welche ſich im Konus an den Anfang der Züge legt, bis an den Boden des Geſchoſſes iſt, und in den für die Ladung bleibenden leeren Theil, welcher der Verbrennungsraum genannt wird. Wir wollen die Länge der ganzen Seele (vom Verſchluß bis zur Mündung) durch L bezeichnen, die Länge der Züge oder des gezogenen Cylinders (von der hinteren Kante der Felder bis zur Mündung) durch z, die Entfernung derſelben Kante der Felder vom Verſchluſſe durch R. Dieſe Entfernung ſei zuſammengeſetzt aus dem Verbrennungsraume r, der vorhin genannten Abmeſſung am Bleimantel b und dem gezogenen Theile des Uebergangskonus c, ſo daß wir alſo haben

$$L = z + R = z + c + b + r,$$

worin wir später c + b durch h darstellen wollen. Die Geschwindigkeit des Geschosses werde überall durch v oder V bezeichnet, das Gewicht des Geschosses durch Q und das der Ladung durch l.

16. Wir kennen bereits die Leistungen unsrer Geschütze; deshalb werden wir diese zu Grunde legen, und dem entsprechend wollen wir mit der Bewegung des Geschosses in den Zügen beginnen.

Sind zwei Röhre vollständig gleich bis auf die Länge der gezogenen Cylinder, so ist eine Verschiedenheit der für gleiche Ladungen und gleiche Geschosse aus ihnen erlangten Geschwindigkeiten nur möglich, wenn sie durch die verschiedene Länge der Züge bedingt wird; denn es liegt außer Zweifel, daß bei solchen Röhren, wie z. B. unsern beiden 12zöllern (dem eisernen und dem bronzenen) die Geschosse durch gleiche Ladungen mit gleichen Geschwindigkeiten in die Züge getrieben werden. Findet man dann für beide Röhre und gleichzeitig für andre Kaliber das in unserm Ladungsgesetze ausgesprochene Potenzial-Verhältniß $\left(\frac{v}{v_1} = \sqrt[1,8]{\frac{l}{l_1}}\right)$ bestätigt, so scheint es erlaubt zu sein, die Bewegung durch die Züge unabhängig von der zu betrachten, durch welche die Geschosse in die Züge treten, und augenscheinlich beginnt hier eine ganz neue Art der Bewegung.

17. Unsere Röhre haben verschiedenen Drall, deshalb sagt das Ladungsgesetz gleichzeitig, daß die Art des Dralles d. h. die geringe Verschiedenheit des bei uns gebräuchlichen auf das Verhältniß der Geschwindigkeiten nur verschwindend kleinen Einfluß übt. Es versteht sich von selbst, daß wir das nicht ausdehnen auf den Zusammenhang von Drall und Rotation, und vielleicht von Drall und Größe der Luftwiderstandskonstante. Hier interessirt uns der Einfluß des Dralles auf die Geschwindigkeit im Rohre. Zerlegt man die Richtung der Vorwärtsbewegung (Seelenachse) in zwei senkrechte Komponenten, von denen die eine mit der Richtung der Züge zusammenfällt (bei Keilzügen mit der Mittellinie beider Zugkanten), so ist diejenige Komponente, welche zur Rotation zwingt, durch den Sinus, diejenige, welche der Vorwärtsbewegung angehört, also für das Entlanggleiten übrig bleibt, durch den Kosinus des Drallwinkels ausgedrückt. Die Kosinus so kleiner Winkel sind für die Praxis nicht verschieden;

dieſer Einfluß darf alſo bei der Aufſuchung von Verhältnißzahlen außer Rechnung bleiben, während die Sinus ſehr ſchnell wachſen, d. h. die Rotationsgeſchwindigkeit kann eine ſehr verſchiedene ſein ohne merkbare Beeinfluſſung der Vorwärtsbewegung.

Wählen wir zwei ſehr von einander abweichende Drallwinkel, etwa 1 Grad und 5 Grad, und ſetzen wir die Geſchwindigkeit an irgend einer Stelle des Rohres gleich 1000 Fuß, ſo ſtreben die widerſtehenden Felder, dieſe zu verringern auf

$$1000 \cos 1^0 \text{ und } 1000 \cos 5^0$$

oder auf 999,1 und 996,2 Fuß.

Dagegen wird für die Drehung eine Geſchwindigkeit

$$\text{von } 1000 \sin 1^0 \text{ und } 1000 \sin 5^0$$

oder 17,5 und 87 Fuß erregt.

sin und cos ſind für die ganze Bewegung durch die Züge konſtante Faktoren.

18. Aus dem Ladungsgeſetze geht auch hervor, daß die Abhängigkeit der Geſchwindigkeiten von der Rohrkonſtruktion ſich ausdrücken laſſen muß durch eine Funktion, welche nur Faktoren enthält; denn auf dieſe Weiſe iſt es vorläufig am leichteſten erklärt, daß jenes Potenzial-Verhältniß ſtattfindet, da überdies das Geſetz ſich vom Kaliber unabhängig gezeigt hat.

Wir beabſichtigen nämlich, vorläufig zu ſetzen

$$v = \varphi\,(R)\; f\,(z),$$

wenn die erſte Funktion das bedeutet, was im Ladungsraume, die zweite das, was in den Zügen vorgeht. Setzen wir nun für zwei Röhre gleiches Kaliber, gleiche Geſchoſſe und gleiche Ladungen voraus, ſo wird

$$\frac{v}{v_1} = \frac{\varphi\,(R)\; f\,(z)}{\varphi\,(R_1)\; f\,(z_1)};$$

haben wir dann zwei Röhre, in welchen $R = R_1$ iſt, wie in unſeren beiden 12Ädern, ſo wird

$$\frac{v}{v_1} = \frac{f\,(z)}{f\,(z_1)}$$

der Ausdruck für die ausgeſprochene Trennung der Bewegung aus dem Ladungsraume von der in den Zügen ſein.

Es ist übrigens keineswegs unsere Ansicht, daß die letztere von der ersteren ganz unabhängig sei. Offenbar tritt das Geschoß mit einer gewissen Geschwindigkeit in die Züge, von welcher die Zeit abhängig ist, welche der Ausdehnung des Gases in einem gewissen Raume geboten wird, als beschleunigende Kraft zu wirken. Nämlich je größer die Geschwindigkeit, desto kürzer ist die Zeit des Verweilens in einem bestimmten Raume, also desto kleiner sind die Beschleunigungen oder das Wachsen der Geschwindigkeit (Schießwolle, Pulver, Barytpulver).

Die wahrscheinlich richtige Form der zu suchenden Funktion wird also sein

$$v = \varphi\ (R)\ f\ (R, z) \text{ oder } \varphi\ (R, r)\ f\ (R, z).$$

Diese Abhängigkeit vom Ladungsraume oder vom Verbrennungsraume wird gewiß mit der Länge des Rohres schwinden, und zwar denken wir uns die Funktion f (R, z) derartig, daß der Theil, welcher dem R entspricht, sehr schnell abnimmt, dagegen der des z sehr schnell wächst. Aus diesem Grunde gestatten wir uns, als erste Näherung bei unseren ziemlich langen Röhren zu setzen

$$v = \varphi\ (R)\ f\ (z).$$

19. Das hochgespannte Gas sucht die Geschwindigkeit zu vergrößern, die Reibung sucht sie zu vermindern. Wir halten es für möglich, daß die Reibung, welche hier wohl passender Widerstand genannt wird, als Zahl ganz aus der Rechnung verschwinde. Keineswegs wollen wir sie vernachlässigen, wie es in Rechnungen für glatte Röhre meist geschah, sondern wir setzen sie als einen konstanten Faktor, welcher bei unseren Bemühungen, Verhältnißzahlen zu finden, weggehoben wird. Wir haben hier das Wort Widerstand gewählt, weil der Reibungskoeffizient im Allgemeinen ein echter Bruch ist, weil ferner die Reibung von der Größe der Flächen unabhängig ist und weil in dem vorliegenden der Zahlenwerth nicht sehr gering ist und andrerseits das Flächengesetz hier nicht anwendbar scheint. Mindestens bei der Bewegung aus dem Ladungsraum durch den Uebergangskonus oder bei dem Einschneiden der Felder in den Bleimantel des Geschosses kann es nicht gleichgültig sein, wie groß der Umfang des Bleimantels ist. Nehmen wir also eine Abhängigkeit des Widerstandes von der Größe der Oberfläche des Bleimantels an, so sehen wir, daß bei unseren nahehin proportional konstruirten Geschossen diese Flächen sich wie die Quadrate der Kaliberdurchmesser

verhalten; in demselben Verhältnisse stehen die Grundflächen der Geschosse, als Angriffsflächen für die treibenden Kräfte. Es scheint also, als wachsen bei gleichen Spannungen Widerstand und Kraft in gleichem Verhältnisse.*)

Da wir nur sehr geringen Gasverlust haben, so dürfen wir annehmen, daß die Spannungen bedingt werden in direktem Verhältnisse irgend einer positiven Funktion der Quantität des Pulvers und in umgekehrtem Verhältnisse einer Funktion der dem Gase gebotenen, fortwährend vergrößerten Räume. In Bezug auf diese ist darauf zu achten, daß sie Cylinder sind, deren Grundflächen gleich oder nahe gleich den Angriffsflächen sind, welche die Geschosse den Gasen bieten, daß also bei gleichen Kalibern das Verhältniß der Räume ausgedrückt wird durch das Verhältniß der Längenabmessungen.

20. Setzen wir also

$$\frac{v}{V} = \frac{f(z)}{f(z_1)},$$

so haben wir den Vergleich der aus zwei Röhren von ungleicher Länge, aber mit gleichen Ladungsräumen, erhaltenen Geschwindigkeiten durch Probiren ein empirisches Gesetz heraus zu bringen, welches dieser Form entspricht. Wir finden nun für unsre beiden 12Uder, welche bedeutend in ihrer Länge abweichen,

$$v : V = \frac{z}{R+z} : \frac{z_1}{R+z_1}$$

oder

$$= \frac{z}{L} : \frac{z}{L_1},$$

wo L die Länge der ganzen Seele bezeichnet.

Nämlich es ist beim	bronzenen 12Uder	eisernen 12Uder
die Länge der Seele L	70,30	94,45 Zoll
die Länge der Züge z	57,85	82,00 "

*) Bei allen Sätzen, die wir mittelst Analogie aus der Physik in die Artillerie zu übertragen haben, ist das Mißliche, daß die Geschwindigkeiten und die Kräfte, unter deren Wirkung sie beobachtet wurden, in ihrer Größe zu verschieden von denen der Artillerie sind. Bewahrheiten sich dennoch die angewendeten Gesetze, so erlangt diese Verwendung Beweiskraft.

die Anfangsgeschwindigkeit für	2,1 ℔.	915	960 Fuß
	1,7 "	814	854 "
	1,1 "	639	670 "
	0,8 "	535	562 "

Seien die Geschwindigkeiten des bronzenen Rohres bezeichnet durch v, die des eisernen durch V, so müßte sein

$$V : v = \frac{8200}{9445} : \frac{5785}{7030}.$$

Wir erhalten

$$v_{2.1\ ℔.} = 910 \text{ Fuß}$$
$$v_{1.7\ ℔.} = 810 \text{ "}$$
$$v_{1.1\ ℔.} = 635 \text{ "}$$
$$v_{0.8\ ℔.} = 532 \text{ "}$$

wodurch wir das Gesetz vorläufig für erwiesen halten, bis wir im Besitze des ganzen Abhängigkeitsgesetzes sein werden, und sprechen es nun so aus:

Bei Röhren gleichen Kalibers, welche außer geringen Drallverschiedenheiten nur durch die Länge der Züge sich unterscheiden, verhalten sich für gleiche Ladungen und gleiche Geschosse die Anfangsgeschwindigkeiten direct wie die Längen der gezogenen Cylinder und indirect wie die Längen der ganzen Seelen.

21. Wir werden uns nach andern Beweismitteln zu bemühen haben, um dieses Zutreffen, wie es bei den beiden 12ℳdern stattfindet, verallgemeinern zu können. Vorher wollen wir einige Worte hinzufügen in Bezug auf den Einfluß des Gewichtes von Geschoß und Ladung. Die an der Mündung gemessene Geschwindigkeit ist nicht ein elementarer Akt, sondern sie ist die Summe der sämmtlichen Beschleunigungen, welche, in unendlich kleinen Zeittheilen erfolgend, eine endliche Zeit hindurch gewirkt haben. Für den Einfluß des Geschoßgewichtes müssen wir uns eine Reihe solcher elementarer Ursachen und dann die Summe ihrer Wirkungen vorstellen. Die Beschleunigung, welche einem Körper ertheilt wird, ist seiner Masse umgekehrt proportional, denn durch dieselbe Kraft wird immer dasselbe Bewegungsmoment hervorgebracht, d. h. diejenige Funktion, welche das Maß der Beschleunigung darstellt, enthält

nothwendig den Faktor $\frac{1}{Q}$, und da die Größe Q während des ganzen Laufes durch das Rohr konstant ist, so wird dieser Faktor in allen einzelnen Zunahmen der Geschwindigkeit enthalten sein. Erinnern wir uns, daß die Mechanik die Beschleunigungen darstellt durch $\frac{dv}{dt}$ und in solchen Fällen, wo die treibende Kraft von der Größe des zurückgelegten Weges abhängig ist, wie es hier vorausgesetzt werden muß, diesem Quotienten die Form $\frac{dv}{dz} \cdot \frac{dz}{dt}$ giebt. $\frac{dz}{dt}$ ist ein Ausdruck für die Geschwindigkeit v selbst, so daß die Beschleunigung erscheint als $v \frac{dv}{dz} = f(z)$, woraus sich ergiebt $v\,dv = f(z)\,dz$. Die Summe dieser Beschleunigungen wird also $\int v\,dv$, und somit $v^2 = 2\int f(z)\,dz$. Die Geschwindigkeit an jeder Stelle des Rohres, wie an der Mündung, ist dann $v = \sqrt{2\int f(z)\,dz}$, und da $f(z)$ den Faktor $\frac{1}{Q}$ enthält, so muß v mit dem Faktor $\frac{1}{\sqrt{Q}}$ behaftet sein.

Wenn ferner bei Zugrundelegung des Mariotteschen Gesetzes die n fache Ladung eine n fache Spannung, d. h. Kraft giebt, so muß $f(z)$ auch den Faktor l enthalten, oder der Ausdruck für v^2 enthält l, mithin der für v den Faktor $\sqrt{l}$; wir dürfen ja schreiben

$$v^2 = 2\int f(z)\,dz = \frac{l}{Q}\,F(z),$$

also

$$v = \frac{\sqrt{l}}{\sqrt{Q}}\sqrt{F(z)},$$

wo wir dann für gleiches z zu setzen haben

$$v : v_1 = \frac{l^{1/2}}{Q^{1/2}} : \frac{l_1^{1/2}}{Q_1^{1/2}}.$$

Da wir statt des Verhältnisses $l^{1/2} : l_1^{1/2}$ aber $l^{1/1,8} : l_1^{1/1,8}$ erhalten, so liegt hierin die Bedeutung des Satzes, daß die Spannungen der Gase etwas größer sind als ihre Dichtigkeiten.

22. Ueber den Einfluß, welchen die Länge der Seele auf das Wachsen der Geschwindigkeiten übt, hat man viele Versuche angestellt. Die glatten Vorderlader haben aber ein bestimmt ausgesprochenes Gesetz nicht erkennen lassen. Hutton fand z. B. nach Piobert, daß die Anfangsge-

ſchwindigkeiten ſich verhielten, wie die 5ten Wurzeln aus den Längen; d'Arcy fand das Verhältniß der 4ten Wurzeln. In allen Artillerien wurde experimentirt, um die Länge der größten Wirkung zu erfahren, und gleichzeitig, um die zuträglichſte Länge zu finden. Das einfachſte Mittel war natürlich immer der Vergleich der Schußweiten, wie z. B. in Hannover im Jahre 1785. Unmöglich konnten alle Verſuche an einem Tage ausgeführt werden; bedenkt man nun die unüberwindlichen Schwierigkeiten, welche das Problem der Flugbahnen bei glatten Geſchützen bot, ſo ſieht man wohl, daß die aus den Schußweiten gezogenen Folgerungen nicht immer von unbedingter Gültigkeit ſein konnten. Nur das fand man beſtimmt, daß durch eine außerordentliche Länge der Röhre, welche ſowohl die Herſtellung als die Handhabung auf das Aeußerſte erſchweren muß, nicht ſo viel an Geſchwindigkeit des Geſchoſſes könne gewonnen werden, daß jenen Mängeln dadurch das Gleichgewicht gehalten würde. Man fand z. B., daß Längen von 18 bis 24 Kalibern faſt gleiche Schußweiten ergaben.

Wir werden auch in unſerm Falle ſehen, daß wegen der bedeutenden Abnahme der Spannungen die Geſchwindigkeiten in ſehr langen Röhren nur ſehr wenig gewinnen. Wir behaupten aber, daß ein wirklicher Gewinn für jede größere Länge zu erwarten iſt, und werden ſpäter darauf zurückkommen, daß es uns nicht möglich ſein würde, ein ſo langes Rohr zu konſtruiren, welches einem kürzeren Rohre gegenüber Verluſt an Geſchwindigkeit zeigen würde.

Bei genauerer Betrachtung des eben für die Länge aufgeſtellten Geſetzes werden wir auch ſehen, daß es für ganz kurze Röhre nicht richtig ſein kann; wir müſſen alſo darauf ausgehen, die Bewegung im Anfange der Züge und vorher näher kennen zu lernen.

IV. Abhängigkeit der Anfangsgeſchwindigkeit von dem Wege, welchen das Geſchoß zurückzulegen hat bis zum vollſtändigen Eintritt in die Züge.

23. Aus denſelben Gründen wie vorhin ſetzen wir in Bezug auf Geſchoß und Ladung: Die Geſchoſſe bewegen ſich durch unſre gezogenen Röhre mit Geſchwindigkeiten, welche ſich direct wie die 1,8. Wurzeln aus den Ladungsgewichten und umge-

kehrt wie die Quadratwurzeln aus den Geschoßgewichten verhalten.

Danach wollen wir versuchen, uns von dem Kaliber unabhängig zu machen oder beliebig von einem zum andern überzugehen. Es liege vor uns eine Zeichnung (Fig. 2) irgend eines unsrer gezogenen Röhre, ebenso eine Zeichnung eines zugehörigen Geschosses, dessen Gewicht uns entweder gegeben ist, oder welches wir uns leicht berechnen können. Wir sehen dann, daß das Geschoß mit der Mitte des vordersten Wulstes oder mit einer andern, leicht bestimmbaren Kreislinie bis an die Kreislinie mn reicht, welche durch das Verlaufen der Züge in den Uebergangskonus gebildet wird und dort den eigentlichen Beginn des durch die Felder bewirkten Widerstandes bezeichnet. Dadurch wird zugleich die Länge des Verbrennungsraumes in der Art bestimmt, daß die Länge des sogenannten Ladungsraumes durch die oben mit b bezeichnete Geschoßabmessung (Mitte des vorderen Wulstes bis an den Boden) und der Länge des Verbrennungsraumes r zusammengesetzt wird.

Das Geschoß bewege sich nun soweit vorwärts, daß sein Boden in dem Kreise sich befinde, welcher durch die hintere Quer-Kante der Felder bezeichnet wird, also dort, wo der gezogene Cylinder beginnt; es lege also den Weg $b + c = h$ zurück.

24. Wie es bei der Betrachtung der Bewegung in den Zügen von Interesse war, das Verhalten der Endgeschwindigkeiten auszudrücken, so ist es auch hier der Fall. Wir würden also hier zu setzen haben

$$v : v_1 = \frac{h}{R} : \frac{h_1}{R_1},$$

um hiermit unsre früheren Beziehungen als Faktoren zu verbinden.

Das entspricht aber den wirklichen Verhältnissen nicht, und wir müssen zu einem andern empirischen Gesetze greifen; sei es, daß bei der langsameren Bewegung die Temperatur mehr Zeit hat, in der ganzen Gasmasse sich auszugleichen, sei es aus irgend einem andern Grunde, wir finden in den wirklichen Zahlen die Beziehung

$$v : v_1 = \sqrt{\frac{h}{R}} : \sqrt{\frac{h_1}{R_1}}.$$

Die ganze Formel für das Verhältniß der Anfangsgeschwindigkeiten heißt nun

$$v : v_1 = \frac{l^{\frac{1}{1,8}}}{Q^{1/2}} \cdot \frac{h^{1/2}}{R^{1/2}} \cdot \frac{z}{R+z} : \frac{l_1^{\frac{1}{1,8}}}{Q_1^{1/2}} \cdot \frac{h_1^{1/2}}{R_1^{1/2}} \cdot \frac{R_1 + z_1}{z_1}$$

Diese Beziehungen finden für jedes Rohr statt; wir haben sie zunächst unabhängig vom Kaliber aufgestellt. Ist das Letztere richtig, so müssen für alle Kaliber die Geschwindigkeiten durch eine und dieselbe Konstante verbunden sein, d. h. wir dürfen allgemein setzen

$$v = K \cdot \frac{l^{\frac{1}{1,8}}}{Q^{1/2}} \cdot \frac{h^{1/2}}{R^{1/2}} \cdot \frac{z}{R+z},$$

oder um die Längen des Verbrennungsraumes und der ganzen Seele einzuführen:

$$v = K \cdot \frac{l^{\frac{1}{1,8}}}{Q^{1/2}} \cdot \frac{\sqrt{R-r}}{\sqrt{R}} \cdot \frac{z}{L}.$$

Um die Konstante K zu bestimmen, setzen wir die Anfangsgeschwindigkeit irgend eines Geschosses mit irgend einer Ladung als bekannt voraus.

25. Wählen wir also jetzt den 6℔der mit Kolbenverschluß mit 0,7 ℔ Ladung und seine Granate von 13,8 ℔ Gewicht; entwickeln wir aus der zugehörigen Anfangsgeschwindigkeit, welche wir aus Schießversuchen gleich 786 Fuß kennen („Ballistik der gezogenen Geschütze" S. 50), die Konstante K und berechnen mittelst derselben die Geschwindigkeiten aus unsern andern Kalibern unter der Annahme: *Außer dem 6℔der wären die übrigen Geschütze nie auf dem Schießplatze gewesen, sondern lägen sammt ihren Geschossen nur in ihren Konstruktionszeichnungen vor.* Die so berechneten Geschwindigkeiten wollen wir dann mit den wirklich erschossenen vergleichen; nur der Bequemlichkeit wegen setzen wir die Geschoßgewichte als bekannt voraus. Beim 6℔der mit Kolbenverschluß ist die Entfernung der vollen Züge vom Verschlusse R = 9,70 Zoll, die Länge des gezogenen Theiles des Uebergangskonus c = 1,25 Zoll, die Entfernung der Kreislinie des vorderen Wulstes, welche im Konus an die Züge stößt, also den Durchmesser 3,60 Zoll hat, vom Geschoßboden b = 3,80 Zoll, die aus beiden zusammengesetzte Länge h also gleich 3,80 + 1,25 = 5,05 Zoll, die Länge des gezogenen Cylinders z = 59 Zoll und die Länge der

ganzen Seele also $= R + z = 9{,}70 + 59 = 68{,}70$ Zoll. Das Gewicht der Ladung ist 0,7 ℔, das der Granate 13,8 ℔.

Daraus folgt nun

$$786 = K \cdot \frac{0{,}7^{1/1{,}8}}{13{,}8^{1/2}} \cdot \frac{\sqrt{5{,}05}}{\sqrt{9{,}70}} \cdot \frac{59}{68{,}70},$$

und rechnen wir mit Logarithmen, so wird

$\log K = \log 786 + 1/2 \log 13{,}8 + 1/2 \log 9{,}70 + \log 68{,}70$
$- (1/1.8 \log 0{,}7 + 1/2 \log 5{,}05 + \log 59)$
$= 2{,}89542 + 0{,}56994 + 0{,}49338 + 1{,}83696$
$- (0{,}91394 - 1 + 0{,}35164 + 1{,}77085)$
$= 5{,}79570 - 2{,}03643 = 3{,}75927$

also $K = 5745$ mit der Benennung Fuß. Wir konnten dieser Rechnung eben so sicher die Ergebnisse andrer Ladungen unterbreiten, z. B.

$$v_{1,2\ ℔} = 1060 \text{ Fuß},$$
$$v_{0,9\ ℔} = 904 \text{ „}$$
$$v_{0,5\ ℔} = 652 \text{ „}$$

um denselben Werth für K zu finden.

26. Die jetzt folgende Prüfung der Formel wird zeigen, wie hoch die Regelmäßigkeit ist, welche den Ergebnissen unsrer gezogenen Geschütze innewohnt*).

1. Bronzener 12℔der.

$l = 2{,}1$ ℔, $Q = 29$ ℔, $R = 12{,}45$ Zoll, $h = 4{,}80 + 1{,}11$ Zoll,
$L = 70{,}30$ Zoll, $L - R = 57{,}85$ Zoll; also

$$v = 5745' \cdot \frac{2{,}1^{1/1{,}8}}{29^{1/2}} \cdot \frac{\sqrt{5{,}91}}{\sqrt{12{,}45}} \cdot \frac{57{,}85}{70{,}30} = 913{,}3 \text{ Fuß}.$$

Aus Schießversuchen ergab sich 915 Fuß.

2. Eiserner 12℔der.

Hier wird $z = 82$, $L = 94{,}45$ und $v = 963$ Fuß, während die Versuche 960 Fuß ergaben.

3. 24℔der.

$l = 4$ ℔, $Q = 54{,}3$ ℔, R 16,43 Zoll, $h = 7{,}20$ Zoll
$L = 103{,}68$ Zoll, $Z = 87{,}25$ Zoll.

---

*) Die Kommission der belgischen Akademie, welche den Apparat des Lieutenant Le Boulangé prüfte, hat dies besonders den Röhren Armstrongs gegenüber anerkannt.

	Durch Rechnung	aus Schießversuchen
v_4 U. =	938 Fuß	940 Fuß
v_3 U. =	799 "	801 "
$v_{2,2}$ U. =	672 "	674 "
$v_{1,7}$ U. =	583 "	584 "

Entsprechend finden wir für die starken Ladungen

$v_{4,5}$ U. = 994,5 Fuß

v_5 U. = 1055 "

$v_{5,5}$ U. = 1112 "

v_6 U. = 1167 "

Die Geschwindigkeiten sind etwa 10 Fuß kleiner als sie aus dem 24Uder mit Kolbenverschluß sein würden, weil durch die Kupferliderung der Verbrennungsraum um 0,30 " verlängert ist.

4. Für den 72Uder mit Granaten wird

v_{16} U. = 1020 Fuß,

mit Vollgeschossen

v_{16} U. = 946 Fuß.

Die erste Konstruktion gab wegen des kürzeren Verbrennungsraumes 1230 und 1134 Fuß.

Die Richtigkeit läßt der Vergleich der Schußtafeln des 72Uders mit denen des 24Uders erkennen.

5. Für den 36Uder wird

mit Granaten v_{10} U. $= 5745' \cdot \frac{10^{1/1,8}}{95^{1/2}} \cdot \frac{8,3^{1/2}}{22^{1/2}} \cdot \frac{95}{117} = 1056$ Fuß

v_9 U. = 996 Fuß,

mit Vollgeschossen v_{10} U. = 986 Fuß

(Gewicht 109 U) v_9 U. = 930 Fuß.

6. Der 4Uder gab bei seiner ersten Konstruktion für die Granate mit erleichtertem Bleimantel von 6,75 U.

v_1 U. = 1314 Fuß durch Rechnung

= 1311 " durch Schießversuche.

Später werden wir sehen, daß weder der 4Uder noch der neue Gußstahl-6Uder von 1864 die durch unser Gesetz berechneten Geschwin-

digkeiten geben, sondern daß diese in Wirklichkeit etwas größer werden, was wir uns werden zu erklären suchen. Offenbar ergiebt diese empirische Formel Resultate, wie sie die in der Physik aufgestellten selten zeigen. Wir halten uns also berechtigt, trotz der sogleich zu bezeichnenden Einwendungen folgende Regel auszusprechen:

27. Man findet die Geschwindigkeit irgend eines Geschosses aus einem der jetzt bestehenden gezogenen Geschütze des preußischen Systems, indem man

die Konstante 5745 Fuß

wenn die Ladung reines Geschützpulver ist,

oder die Konstante 6090 Fuß,

wenn die Ladung eine Glycerinkapsel enthält,

1) multiplizirt mit der 1,8. Wurzel aus dem Ladungsgewichte,

2) dividirt durch die Quadratwurzel aus dem Geschoßgewichte,

3) multiplizirt mit der Quadratwurzel aus der Entfernung des Geschoßbodens von der hintern Querkante der Felder,

4) dividirt durch die Quadratwurzel aus der Entfernung der hintern Querkante der Felder vom Verschlusse,

5) multiplizirt mit der Länge des gezogenen Cylinders und

6) dividirt durch die Länge der ganzen Seele (incl. die Vertiefung der Stahlplatte für die Kupferliderung).

Für Ladungen mit Glycerin haben wir eine abweichende Konstante gegeben; da der Verbrennungsraum des neuen 6Ubers um 1,10 Zoll verlängert ist, so kann er unmöglich für 1,2 U. Ladung dieselbe Geschwindigkeit geben wie der ältere 6Uber, wenn das Glycerin nicht die Spannung erhöht. Nun haben wir früher beim 6 Uber $v_{1,2\,U.} = 1060$ Fuß gehabt, und die Schießversuche geben jetzt 1150 Fuß für 1,4 U. und 1055 Fuß für 1,2 U.; es muß also in der Verwendung des Glycerin irgend ein Grund für die wahrgenommene Steigerung liegen, sei es durch eine chemische Ursache oder durch die bloße Vermehrung des Gases. Die Ergebnisse des 4Ubers entsprechen dem; beide Geschütze sind durch die Konstante 6090 Fuß verbunden, und wir geben zur Prüfung unsrer Angaben die Rechnung:

für den 6 Uber

$$v_{1,4\,U.} = 6090' \cdot \frac{1{,}4^{1/1{,}8}}{13{,}8^{1/2}} \cdot \frac{\sqrt{5{,}05}}{\sqrt{1080}} \cdot \frac{61{,}30}{72{,}10} = 1150',$$

für den 4Uber

$$v_{1\,\text{U}} = 6090' \cdot \frac{1^{1/1.8}}{8{,}5^{1/2}} \cdot \frac{\sqrt{4{,}60}}{\sqrt{1050}} \cdot \frac{57{,}85}{68{,}35} = 1175'.$$

V. Vervollständigung der Geschwindigkeitsformel, das Wachsen der Geschwindigkeiten im Rohre und die dazu gehörigen Zeiten.

28. Wir sehen aus der gegebenen Formel, daß man im Rechte ist, wenn man für das Verhältniß der Geschwindigkeiten den sogenannten Ladungsquotienten zu Grunde legt, d. h. den Quotienten, welcher die Ladung in Bruchtheilen des Geschoßgewichtes ausdrückt; wir sehen aber auch, daß es noch zwei andere bestimmende Quotienten giebt, zunächst den, welcher den bis zum vollendeten Eintritte in die Züge zurückgelegten Weg durch den hinter dem Geschosse gewachsenen leeren Raum dividirt, und dann den, welcher die Länge des in den Zügen zurückgelegten Weges zur Länge der ganzen Seele in Beziehung setzt. Den mittleren Quotienten werden wir später Gelegenheit haben zu betrachten; besprechen wir jetzt den letzten Faktor. Man sieht sofort, daß das durch ihn ausgedrückte Gesetz nicht ganz richtig sein kann; denn nehmen wir an, es würde $z = 0$, d. h. wäre das Rohr am Uebergangskonus abgeschnitten, so würde die Formel $v = o$ ergeben, was doch offenbar nicht möglich ist. Wir haben noch kein Mittel, diesen Grenzwerth zu bestimmen, müssen also neuen Ueberlegungen folgen und Erfahrungen aufsuchen, welche uns unterstützen, um, dem Vertrauen folgend, welches die gegebene Rechnung erweckt, auch die Geschwindigkeiten im Innern des Rohres erkennen zu können.

Gewiß konnte es nicht Zufall sein, daß die errechneten Zahlen mit der Wirklichkeit eine solche Uebereinstimmung zeigen, da weder die Abmessungen der Geschütze noch die durch ihre Verbindung mit denen der Geschosse entstandenen proportional sind. Wir denken also, es sei eine Funktion vernachlässigt, welche in der Nähe von $z = o$ von großer, in der Nähe von z gleich der ganzen Länge der Züge von sehr geringer Bedeutung sein müßte.

29. Es ist weder möglich noch nothwendig für das Verständniß der Sache, alle die Versuche mitzutheilen, welche wir ausgeführt haben, um einen passenden Ausdruck zu finden; weil eine große Menge von Rück-

sichten zu beachten sind, so wollen wir nur einige Worte darüber mittheilen.

Zunächst bleibt offenbar der Quotient $\frac{z}{R+z}$ ungeändert in der Form $\frac{nz}{R+z}$, wenn nur die Konstante K dann nmal kleiner wird. Da man sich unter

$$K \cdot \frac{l^{1/1,8}}{Q^{1/2}} \cdot \frac{\sqrt{h}}{\sqrt{R}}$$

die Geschwindigkeit am Ende des Weges h vorzustellen hat, so muß der hinzutretende Faktor für $z = o$ die Einheit ausdrücken und dies geschieht durch die Form $\frac{R+nz}{R+z}$. Dieser Bedingung genügen freilich auch noch viele andere Ausdrücke; es kommt also darauf an, die Werthe von Geschwindigkeiten an bestimmten Stellen im Innern des Rohres zu kennen, um die gewählte Form prüfen zu können. Für diesen Zweck standen uns glücklicher Weise die Resultate zu Gebote, welche von drei verschieden langen 24ündern herrühren. Man hatte für den Vorversuch zur Konstruktion eines Hinterladermörsers einen 24ünder auf 60 Zoll Zuglänge, einen andern auf 30 Zoll abgeschnitten. Aus früheren Versuchen wissen wir, daß unser normales Rohr bei 3 ü. Ladung für die Granate 801 Fuß Anfangsgeschwindigkeit giebt, und die Kenntniß dieser Zahl genügt, um für das gleichzeitige Schießen aus diesem Rohre und den beiden verkürzten Röhren zunächst die Luftwiderstandskonstante des Tages*) und dann die Geschwindigkeiten aus den kurzen Röhren zu berechnen. So fanden wir für das Rohr mit 60 Zoll Zuglänge bei

*) Zur Vervollständigung unsrer Angaben über die Luftwiderstandskonstanten in der „Ballistik der gezogenen Geschütze" müssen wir hier bemerken, daß der außerordentlich hohe Werth $k_1 = 8400$ oder $k = 7102$ nur den heißen Julitagen von 1861 angehörte, und daß diese Zahl wirklich erstens mit der Jahreszeit und dann auch täglich mit der Windrichtung wechselt. Dies geschieht in einem solchen Grade, daß wir schon für den 24ünder $k = 4000$ gefunden haben. Hierin liegt, daß Hutton wohl gezwungen sein konnte für die Kugel die Zahl λ oft über 1 zu steigern und ferner liegt hierin, daß es verlorne Mühe sein wird, in dieser Richtung je das ballistische Problem rein wissenschaftlich weiter lösen zu wollen, als es bis jetzt geschehen ist. (Rationelle Empirie).

3 ℔ Ladung v = 758,5, für das mit 30 Zoll Zuglänge 670 Fuß, welche Zahlen ihrem Verhältniſſe nach auch durch die Beobachtung der Flugzeiten beſtätigt wurden. Durch die Uebertragung auf 4 ℔ Ladung erhalten wir nun

$$v_{4\,℔} = 940 \text{ Fuß} \ldots 890 \text{ Fuß} \ldots 785 \text{ Fuß}.$$

30. Auf alle Fälle ſieht man, daß, wenn ſelbſt dieſe Zahlen nicht genau richtig wären, die Steigerung der Geſchwindigkeiten gegen die Mündung hin eine ſehr geringe iſt, und daß ſie im Anfange eine außerordentlich große geweſen ſein muß. Vergleichen wir nun die Größe der Hinderniſſe, welche bei dem Gange durch den Konus zu überwinden ſind, mit der Größe derjenigen, welche dem Geſchoſſe in dem vorderen gezogenen Cylinder entgegentreten, und bedenken wir, daß unmittelbar nach dem Verlaſſen des Konus die Spannungen noch nicht ſehr gefallen ſein können, ſo dürfen wir wohl annehmen, daß die nächſten 10 Zoll in den Zügen mindeſtens ſo viel Geſchwindigkeitszuwachs geben als die 7,2 Zoll durch den Konus, die nächſten 10 Zoll vielleicht halb ſo viel, die folgenden wieder halb ſo viel, d. h. nach 30 Zoll Zuglänge muß die Geſchwindigkeit von z = o etwa auf das Dreifache geſtiegen ſein. Dieſer rohe Ueberſchlag kann natürlich nicht beſtimmend ſein, aber er unterſtützt das Suchen und ſchützt uns, anzunehmen, die Geſchwindigkeit habe in dieſen 30 Zoll nur ſehr wenig gewonnen. Zu den zwingenden Umſtänden gehören außerdem namentlich die Ergebniſſe andrer Röhre, zu denen wir hier noch die eines bronzenen 6℔.ders von 49 Zoll Zuglänge, welcher in zwei Exemplaren vorhanden iſt, hinzufügen — dieſes Geſchütz gab bei 1,2 ℔ Ladung v = 1030 Fuß.

Nicht weniger wichtig ſind die Rückſichten auf die analytiſchen Folgerungen, von denen wir nur anführen wollen, daß gewiß an keiner Stelle des Rohres der Geſchwindigkeitszuwachs negativ werden kann.

31. In dieſen Gründen liegt es, daß wir ſtatt

$$\frac{z}{R+z} \text{ den Factor } 1 + \frac{3{,}5\ z}{R+z} \text{ oder } \frac{R + 4{,}5\ z}{R+z}$$

wählen, für welchen natürlich die Konſtante K = 5745 Fuß nicht mehr richtig ſein kann. Wir beſtimmen alſo aus irgend einer Geſchwindigkeit eine neue Konſtante und ſetzen die allgemeine Formel

$$v = 1226' \cdot \frac{l^{1/1,8}}{Q^{1/2}} \cdot \frac{h^{1/2}}{R^{1/2}} \cdot \frac{R + 4{,}5\,z}{R + z},$$

welche wir jetzt prüfen wollen.

a. 24ükder von 87,25 Zoll Zuglänge:

$$1226' \cdot \frac{4^{1/1,8}}{54{,}3^{1/2}} \cdot \frac{7{,}20^{1/2}}{16{,}43^{1/2}} \cdot \frac{16{,}43 + 4{,}5 \cdot 87{,}25}{103{,}68} = 940 \text{ Fuß};$$

Für $z = o$ wird $v = 237{,}9$ Fuß.

b. 24ükder von 60 Zoll Zuglänge:

$$237{,}9' \cdot \frac{16{,}43 + 4{,}5 \cdot 60}{76{,}43} = 891{,}5 \text{ Fuß}.$$

c. 24ükder von 30 Zoll Zuglänge:

$$237{,}9' \cdot \frac{16{,}43 + 4{,}5 \cdot 30}{46{,}43} = 776 \text{ Fuß}.$$

d. Eiserner 12ükder von 82 Zoll Zuglänge:

$$1226' \cdot \frac{2{,}1^{1/1,8}}{29^{1/2}} \cdot \frac{5{,}91^{1/2}}{12{,}45^{1/2}} \cdot \frac{12{,}45 + 4{,}5 \cdot 82}{94{,}45} = 959{,}5 \text{ Fuß}.$$

Für $z = o$ wird $v = 236{,}9$ Fuß.

e. Bronzener 12ükder von 57,87 Zoll Zuglänge:

$$236{,}9' \cdot \frac{12{,}45 + 4{,}5 \cdot 57{,}87}{70{,}32} = 918{,}5 \text{ Fuß}.$$

f. Gußstahl- und eiserner 6ükder von 59 Zoll Zuglänge:

$$1226' \cdot \frac{1{,}2^{1/1,8}}{13{,}8^{1/2}} \cdot \frac{5{,}05^{1/2}}{9{,}70^{1/2}} \cdot \frac{9{,}70 + 4{,}5 \cdot 59}{68{,}70} = 1056 \text{ Fuß}.$$

Für $z = o$ wird $v = 263{,}5$ Fuß.

g. Bronzener 6ükder von 49 Zoll Zuglänge.

$$263{,}5' \cdot \frac{9{,}70 + 4{,}5 \cdot 49}{58{,}70} = 1032 \text{ Fuß}.$$

In derselben Weise stimmen die Resultate für den 36ükder und 72ükder.

Für die beiden Feldgeschütze, deren Ladungen Glycerinkapseln enthalten, erhalten wir die Konstante $K_1 = 1303$ Fuß und finden dann

h. Für den 6ükder

$$1303' \cdot \frac{1{,}4^{1/1,8}}{13{,}8^{1/2}} \cdot \frac{5{,}05^{1/2}}{10{,}80^{1/2}} \cdot \frac{10{,}80 + 4{,}5 \cdot 61{,}30}{72{,}10} = 1150 \text{ Fuß};$$

i. Für den 4Uder:

$$1303' \cdot \frac{1^{1/1,8}}{8,5^{1/2}} \cdot \frac{4,60^{1/2}}{10,50^{1/2}} \cdot \frac{10,50 + 4,5 \,.\, 57,85}{68,35} = 1175 \text{ Fuß.}$$

Für $z = o$ wird

beim 6Uder $v_{1,4}$ U. = 289,2 Fuß,

und $v_{1,2}$ U. = 265,4 Fuß,

„ 4Uder v_1 U. = 294 Fuß, während wir vorher beim 6Uder $v_{1,2}$ U. = 263,5 Fuß hatten, obgleich der Verbrennungsraum kürzer war. Vielleicht dürfen wir hieraus schließen, daß durch das Glycerin die Wirkung des Pulvers brisanter wird, wenn wir auch nicht das Nitroglycerin als Maßstab aufstellen wollen, sondern annehmen, daß durch das Glycerin die Gasmasse vermehrt wird.

32. Keineswegs halten wir die aufgestellte Formel für unbedingt richtig, namentlich in Hinsicht auf den Faktor

$$\frac{h^{1/2}}{R^{1/2}},$$

welcher der Länge des bezüglichen Weges h einen zu großen Einfluß einräumt und deshalb noch einer Korrektur bedarf, die wir im nächsten Abschnitte versuchen wollen. Aber wir dürfen uns wohl das Recht nehmen, aus ihr durch Rechnung Schlüsse zu ziehen. Können wir auch jetzt noch nicht durch beobachtete Thatsachen beweisen, daß die für $z = o$ gegebenen Anfangswerthe unzweifelhaft sind, so glauben wir doch eine Basis zu haben, um vorläufig einen Theil der „Inneren Ballistik" durch Rechnung vorzuführen, nämlich den, ein Bild zu geben, von dem Wachsen der Geschwindigkeiten im Inneren des Rohres.

33. In der folgenden Tabelle stellen wir die Geschwindigkeiten im Innern des 24Uders und des 12Uders zusammen, um daraus erkennen zu lassen, wie bei der gleichen Anfangsgeschwindigkeit, durch die geringere Länge des Verbrennungsraumes und die dadurch bedingte geringere Länge des freien Raumes hinter dem Geschosse bei gleichen in den Zügen zurückgelegten Wegen, die Endgeschwindigkeiten sowohl als die ersten Zuwachse des 12Uders größer sind, und andrerseits wie bei der immer wachsenden Länge des gezogenen Cylinders die größere Ladung

des 24Ubers das Uebergewicht in Bezug auf die Erhaltung der Spannungen hat.

Länge des in den Zügen zurückgelegten Weges.	Geschwindigkeit der Granate im			
	24Ubcr. 4 U. Ladung.		12Ubcr. 2,1 U. Ladung.	
Zoll.	Fuß.	Differenz.	Fuß.	Differenz.
0	238		237	
		197		238
5	435		475	
		118		131
10	553		606	
		82		81
15	635		687	
		60		61
20	695		748	
		81		75
30	776		823	
		53		44
40	829		867	
		36		31
50	865		898	
		27		24
60	892		922	
		20		18
70	912		940	
		17		16
80	929		956	
		16		14
90	945		970	
		15		13
100	960		983	

34. Für die zweite Tabelle bestimmen wir die Resultate beider 6Uder ohne und mit Glycerinkapseln, um zu zeigen, in wie fern bei größerer Anfangsgeschwindigkeit durch ein brisanteres Schießmittel dennoch die Endgeschwindigkeit nicht zu wachsen braucht, wenn für dasselbe der Verbrennungsraum vergrößert wurde.

Länge des in den Zügen zurückgelegten Weges.	Geschwindigkeit der Granate im			
	alten 6Uder, 1,2 U. Ladung ohne Glycerin.		neuen 6Uder, 1,2 U. Ladung mit Glycerin.	
Zoll.	Fuß.	Differenz.	Fuß.	Differenz.
0	263,5		265,4	
		328,5		293,6
5	592		559	
		140		153
10	732		712	
		90		93
15	822		805	
		63		64
20	885		869	
		75		81
30	960		948	
		43		49
40	1003		997	
		33		33
50	1036		1030	
		24		23
60	1060		1053	
		18		17
70	1078		1070	

Unmittelbar nach dem Verlassen des Konus sieht man den Einfluß des größeren Ladungsraumes, welcher indessen bald ausgeglichen wird. Ohne Glycerin würden wir bei 60 Zoll $v = 990$ Fuß erhalten.

Bei den starken Ladungen gleichen Glycerin und Verlängerung des Verbrennungsraumes sich aus.

35. Hieran knüpfen wir den interessanten Versuch, dessen wir schon im zweiten Abschnitte gedacht haben. Der Herr Oberstlieutenant von Uchatius verkürzte einen Gewehrlauf um je 5 Zoll so, daß das Geschoß bei dem längsten Wege 63 Kaliber zurücklegte, bei dem kürzesten von dem größeren Ladungsraume aus noch 10 Kaliber. Der Versuch zeigt zwischen zwei Pulverladungen, wie bei gleicher Endgeschwindigkeit durch die Verlängerung des Verbrennungsraumes eine größere Ladung weniger brisant gemacht wird als eine kleinere in kleinerem Raume, und bietet somit eine Unterstützung für den Beweis der Richtigkeit unserer Annahmen. Zweitens zeigt der Versuch zwischen einer Pulverladung und

einer Schießwollladung, wie ein äußerst brisant wirkendes Schießmittel bei hinreichend langen Röhren nicht größere Endgeschwindigkeiten giebt als das Pulver.

Länge des Laufes in Kalibern à 0,54 W. Zoll.	Geschwindigkeit in Fußen durch		
	Gewehrpulver		Schießwolle
	55 Gran.	65 Gran.	21 Gran.
	Verbrennungsraum = 0,75 Zoll.	Verbrennungsraum = 2,50 Zoll.	
63	1140	1136	1145
55	1073	1044	1118
50	1057	983	1097
45	1057	966	1076
40	983	893	1097
35	966	877	1073
30	909	801	1044
25	917	767	1009
20	877	738	1009
15	852	627	901
10	664	500	749

Der Unterschied in der Größe der brisanten Wirkungen zeigt sich offenbar in der Verschiedenheit der Anfangsgeschwindigkeiten. Ob man hieraus schließen darf, daß man zur Erzielung größerer Wirkungen ohne höheren Angriff auf das Rohr größere Ladungen verwenden dürfe, wollen wir weiter unten besprechen.

36. Jetzt wollen wir zunächst das rein wissenschaftliche Bild von dem Vorgange im Innern des Rohres vervollständigen, indem wir versuchen, die Zeiten zu bestimmen, welche das Geschoß für gewisse Wege verbraucht.

Die Geschwindigkeit ist dargestellt durch den Quotienten $\frac{dz}{dt} = v$. In unserm Falle ist v bekannt, t gesucht; wir werden also zu setzen haben $\frac{dz}{v} = dt$ und erhalten daraus

$$t = \int_0^z \frac{dz}{v}.$$

Den von z unabhängigen Theil der Geschwindigkeitsformel, welcher also in Bezug auf z konstant ist, setzen wir

$$K \frac{l^{\frac{1}{1,8}}}{Q^{1/2}} \cdot \frac{h^{1/2}}{Q^{1/2}} = C,$$

$$\text{also } v = C \cdot \frac{R + 4{,}5\,z}{R + z} \text{ und } t = \frac{1}{C} \int_0^z \frac{R + z}{R + 4{,}5\,z}\, dz,$$

ein Integral, welches sehr leicht zu berechnen ist.

Sei $R + 4{,}5\,z = x$, so wird $R + z = \frac{3{,}5\,R + x}{4{,}5}$, $dz = \frac{dx}{4{,}5}$,

also

$$t = \frac{1}{C} \cdot \frac{1}{4{,}5^2} \int_0^z \frac{x + 3{,}5\,R}{x}\, dx,$$

wo das unbestimmte Integral sich ergiebt

$$x + 3{,}5\,R \log x + \text{Const.}$$

oder $$R + 4{,}5\,z + 3{,}5\,R \log (R + 4{,}5\,z) + \text{Const.}$$

Die Grenze $z = o$ giebt

$$R + 3{,}5\,R \log R,$$

und die Subtraction von dem allgemeinen Werthe für die Grenze $z = z$

$$4{,}5\,z + 3{,}5\,R \log \frac{R + 4{,}5\,z}{R}.$$

Die Zeit wird also ausgedrückt durch

$$t = \frac{1}{4{,}5\,C} \left(z + \frac{7}{9}\, R \log \frac{R + 4{,}5\,z}{R} \right),$$

oder, wenn wir beachten, daß C in Fußen, die Rohrabmessungen aber in Zollen benannt sind, durch

$$t = \frac{Q^{1/2}\, R^{1/2}}{54 . 1226\, l^{\frac{1}{1,8}}\, h^{1/2}} \left(z + \frac{7}{9} R \log \frac{R + 4,5\, z}{R}\right).$$

Die durch log bezeichneten Logarithmen sind natürliche, welche wir in gemeine zu verwandeln haben, wobei wir gleichzeitig den vor der Klammer stehenden Faktor ausgerechnet schreiben; wir erhalten dann bei der Abkürzung des Produktes des Moduls $2,302585 . \frac{7}{9}$ auf 1,79 in gemeinen Logarithmen

1) für die 24 ℔ der mit Granaten und 4 ℔ Ladung

$$t = \frac{1}{238 . 54} \left(z + 1,79 . 16,43 \log \frac{16,43 + 4,5\, z}{16,43}\right),$$

2) für die 12 ℔ der mit Granaten und 2,1 ℔ Ladnng

$$t = \frac{1}{237 . 54} \left(z + 1,79 . 12,45 \log \frac{12,45 + 4,5\, z}{12,45}\right),$$

3) für die 6 ℔ der mit Granaten und 1,2 ℔ Ladung

$$t = \frac{1}{264 . 54} \left(z + 1,79 . 970 \log \frac{970 + 4,5\, z}{9,70}\right).$$

37. Die obige Formel ergiebt:

a. Für verschiedene Ladungen verhalten sich die in den Zügen verbrauchten Zeiten umgekehrt wie die 1,8. Wurzeln aus den Ladungsgewichten,

b. für verschieden schwere Geschosse verhalten sich diese Zeiten wie die Quadratwurzeln aus ihren Gewichten.

Wir berechnen folgende

Tabelle

über die in den Zügen des 24ûders bei 4 ℔ Ladung von den Granaten verbrauchten Zeiten.

Länge des in den Zügen zurückgelegten Weges.	Geschwindigkeit		Am Ende dieses Weges in den Zügen verbrauchte Zeit	
		Mittel		Differenz
Zoll	Fuß	Fuß	Sekunden	Sekunden
0	238		0	
		336		0,00124
5	435		0,00124	
		494		0,00085
10	553		0,00209	
		594		0,00071
15	635		0,00280	
		665		0,00062
20	695		0,00342	
		735		0,00113
30	776		0,00455	
		803		0,00108
40	829		0,00558	
		847		0,00098
50	865		0,00656	
		879		0,00094
60	892		0,00750	
		902		0,00091
70	912		0,00841	
		921		0,00087
80	929		0,00928	
		935		0,00072
87,25	940		0,01000	

38. Diese Tabelle, welche sich leicht graphisch versinnlichen läßt, haben wir aufgeführt als Beispiel für den Vergleich der Resultate einer analytischen Rechnung mit denen einer elementaren Anschauung. Wir haben oft Gelegenheit zu sehen, daß man den Begriff des unendlich Kleinen ohne große Strenge in die Praxis übertragen kann, daß man dann etwas relativ Kleines dafür setzen darf, z. B. daß man für $v = \frac{dz}{dt}$ nehmen darf $v = \frac{\Delta z}{\Delta t}$ oder $\Delta t = \frac{\Delta z}{v}$. Wir sehen dann, daß gerade

darin der nicht hoch genug zu schätzende Werth der graphischen Methode, artilleristische oder physikalische Gesetze auszudrücken, liegt, daß man mittelst dieser Uebertragung des unendlich Kleinen mit Leichtigkeit Aufschlüsse erlangen kann, welche oft die mühsamsten Rechnungen nicht geben können. Auf genügend erkannter wissenschaftlicher Basis ist dann die graphische Methode mit Recht für uns etwas mehr als eine bequeme Interpolationsform, was sie überdies noch in höchster Potenz ist. Vielleicht werden wir im Laufe dieser Arbeit selbst eine Anwendung von dem Gesagten machen müssen; in diesem Augenblick wollen wir nur den Ausdruck $v = \frac{\Delta z}{\Delta t}$ oder $\Delta t = \frac{\Delta z}{v}$ prüfen. Die Zeit, welche einem kleinen Wege entspricht, wird hiernach gefunden, wenn wir seine Länge durch eine Geschwindigkeit dividiren, welche dem Mittelwerthe zwischen den den Grenzen angehörigen Geschwindigkeiten angehört, da man sehr kleine Wege als mit gleicher Geschwindigkeit zurückgelegt ansehen darf. Die Grenzen müssen natürlich um so enger gewählt werden, je schneller die Geschwindigkeiten wachsen. Deshalb wählen wir in der Nähe des Uebergangskonus die Weglängen von 5 Zoll zu 5 Zoll. So ist die mittlere Geschwindigkeit zwischen 0 Zoll und 5 Zoll gleich 336 Fuß oder 4032 Zoll, und die Division in 5 Zoll ergiebt $t = 0{,}00124$ Sekunden. In derselben Weise finden wir nacheinander für die späteren Wege

$\Delta t = 0{,}00084,\ 0{,}00070,\ 0{,}00063,\ 0{,}00113,\ 0{,}00104,\ 0{,}00098,$

u. s. w., so daß wir schließlich sehen, daß der ganze 87,25 Zoll lange gezogene Cylinder in $^1/_{100}$ Sekunde durchlaufen ist.

39. So klein die einzelnen Zeitunterschiede sind, so erkennt man sie deutlich beim Gebrauche verschieden langer Röhre, indem sie sich in verschiedenen Endgeschwindigkeiten äußern; diese Unterschiede zeigen sich von Ladung zu Ladung, von Geschoß zu Geschoß, sie kommen in Millionstheilchen von Sekunden zur Erkenntniß von Schuß zu Schuß beim allmäligen Verschmutzen der Röhre. Ihre Kleinheit giebt dem Artilleristen eine Anschauung von der Strenge der die Waffe beherrschenden Gesetze, sie fordern ihn selbst zu der größten Strenge auf bei der Fertigung wie bei der Verwendung von Geschütz und Munition, wie sie gleichzeitig ihm zeigen, daß es nicht immer die Schuld des Menschen sein kann, wenn die Ergebnisse des Schießens unter sich abweichend sind.

Ueber die muthmaßlich im Konus verbrauchten Zeiten sprechen wir später.

VI. Abweichende Erfahrung, Versuch einer weiteren Vervollständigung der Geschwindigkeitsformel und Folgerung.

40. Nach dem bisherigen Vortrage kann es gewiß nicht als Uebereilung erscheinen, zu versuchen, ob durch eine Aenderung des Uebergangskonus ein Gewinn an Anfangsgeschwindigkeit bei Anwendung gleicher Ladungen zu ermöglichen sei. Zu dem Zwecke wurde der Uebergangskonus eines 24℔ders durch Nachbohren in der Art verlängert, daß das Geschoß seine frühere Lage im Ladungsraum behielt, die Verjüngung bis in die vollen Züge aber statt bisher 1,20 Zoll jetzt 7,20 Zoll lang wurde. Es wurde vorausgesetzt, daß die Erleichterung des Eintrittes in die Züge eine größere Geschwindigkeitszunahme bedingen würde. Die Formel ergab eine Steigerung von 940 auf 1000 Fuß für 4 ℔. Ladung, also entsprechend einer Ladungsvermehrung bis 4,5 ℔. Die Arbeit selbst war schwierig; sie wurde aber in dem Grade genau ausgeführt, wie es im Allgemeinen von unsrer Technik erwartet werden darf. Um die Vergleichsumstände möglichst ähnlich zu machen, wurde gleichzeitig aus einem normalen 24℔der geschossen, und man erhielt bei 8 Grad Elevation aus dem normalen Rohre im Mittel 2845 Schritt, aus dem aptirten 2910 Schritt Schußweite, also einen Gewinn von 65 Schritt, welcher einem Geschwindigkeitszuwachs von etwa 20 Fuß entspricht. Aus diesem Ergebnisse geht hervor, daß die Erleichterung, welche der schlankere Konus gewährt, allerdings deutlich erkennbar ist, daß der Vortheil aber nicht so hoch gesteigert werden kann, um die herbeigeführten Nachtheile als Spielraum vor der Bewegung des Geschosses, schwerere Bedienung u. s. w. wirksam vergessen zu machen. Es war nämlich wegen der schlanken Konizität nöthig für die Erreichung normaler Lagerung des Geschosses, dasselbe mittelst eines Ansetzers ins Rohr zu bringen, wodurch eben der großen Steilheit des Konus wegen der Verbrennungsraum nach vorn nicht genau abgeschlossen war, so daß gewiß ein großer Theil der ersten Gaswirkung verloren ging. Vielleicht war auch während der Bewegung durch den Konus die Verbrennung nicht in dem Grade vorgeschritten, wie wir es für die bestehenden Röhre angenommen haben.

41. Es lag nun nahe, den Versuch nach einer andern Richtung auszudehnen, zu zeigen, welchen Einfluß die Verkürzung des Verbren-

nungsraumes auf die Geschwindigkeiten habe. Man zog deshalb in beiden Röhren die Geschosse um 2,5 Zoll zurück. Dadurch entstand wohl ein bedeutender Abzugskanal für das erste Gas, welcher die Wirkung etwas schwächte, aber man erreichte bei gleicher Ladung und gleicher Elevation wie vorhin aus dem normalen Rohre eine mittlere Schußweite von 2968 Schritt, also einen Gewinn von 123 Schritt, aus dem aptirten Rohre 3002 Schritt, also einen Gewinn von 92 Schritt. Daß das normale Rohr mehr gewonnen hatte, war dadurch erklärlich, daß bei dem Hineinschießen in den Konus die Verschiedenheit des Widerstandes noch mehr ausgeglichen wurde als bei der richtigen Lagerung des Geschosses. Wir haben in diesen beiden Fällen die Berücksichtigung des Spielraums zu beachten; aber es fehlt uns das Mittel seinen Einfluß zu berechnen. Anders ist es in dem gewöhnlichen Falle, wo das Geschoß wirklich den Verbrennungsraum abschließt, aber durch das Ansetzen mit dem Hebebaum verschieden weit in den Konus getrieben wird, ein Umstand, welcher beim praktischen Schießen sehr zu beachten ist, weil er in hohem Grade zu Vergrößerung der Längenstreuungen unsrer Geschosse beiträgt. Im Allgemeinen wird das Geschoß zu tief eingesetzt, und die Folge ist allemal eine Verringerung der Anfangsgeschwindigkeit. Diese Ungleichmäßigkeiten gehen bis zu 0,50 und 0,70 Zoll.

42. Alle diese Gründe haben uns getrieben, einem Faktor unsrer Formel eine etwas andere Gestalt zu geben. Wir haben schon bemerkt daß dem Faktor $\frac{h^{1/2}}{R^{1/2}}$ ein zu bedeutender Einfluß eingeräumt sei. Offenbar zerlegt sich die Bewegung des Geschosses durch den Konus in die zwei Momente: Aufnahme des konischen Theiles der Felder durch den Bleimantel und Einschneiden der vollen Felder. Danach zerlegen wir die Größe h in ihre beiden Theile c und b und bringen zu diesen Größen als Weglängen die hinter dem Geschosse entstandenen freien Räume in Beziehung. Auch ist wohl anzunehmen, daß während des ersten Theiles der Bewegung die Gasentwicklung noch erst im Steigen ist, also die Spannung der Gase noch geringer als unmittelbar nachher. Das führt uns dazu, statt $\frac{h}{R}$ zu schreiben

$$\frac{c}{2(r+c)} + \frac{b}{R}, \text{ oder } \frac{c}{2(r+c)} + \frac{b}{r+c+b},$$

da $R = r + c + b$, also

$$\sqrt{\frac{c}{2(r+c)} + \frac{b}{r+c+b}} \text{ statt } \sqrt{\frac{b}{R}}.$$

Beispielsweise würde für den normalen 24ünder die Formel jetzt heißen

$$v = K \frac{4^{\frac{1}{1,8}}}{54,3^{1/2}} \cdot \sqrt{\frac{1,20}{2(9,23+1,20)} + \frac{6,00}{9,23+1,20+6,00}} \cdot \frac{16,43 + 4,5.\ 87,25}{103,68} = 940 \text{ Fuß}.$$

Bei dem Werthe $K = 1226$ Fuß erhalten wir für $z = o$ die Geschwindigkeit 233,7 statt 237,9. Das bedeutet, daß wir die Konstante ein wenig erhöhen müssen. Setzen wir jetzt $K = 1248$, so wird beim 12ünder für $z = 0$ $v = 236,9$, wie vorher, dagegen beim 6ünder 262,3 statt 263,5. Der Unterschied ist indessen so gering, daß die Endgeschwindigkeit sich 1054 statt 1056 Fuß ergiebt.

43. Wenden wir diese Formel jetzt auf das Rohr mit verlängertem Uebergangskonus an, wo $r = 9,23$, $c = 7,20$, $b = 6,00$, also $R = 22,43$ und $z = 81,25$ sind, so erhalten wir den Schießversuchen entsprechend 956 Fuß Geschwindigkeit.

Nach der weiter oben gegebenen Geschwindigkeitstabelle würden wir an der Stelle des Rohres bei unserm normalen 24ünder, wo hier erst die Züge beginnen, also bei $z = 6$ Zoll schon eine Geschwindigkeit haben, welche größer ist als 435 Fuß. Wenn nun das aptirte Rohr für $z = 0$ $v = 255,4$ ergeben und der verlängerte Konus doch eine Erleichterung bieten soll, so scheint hierin ein Widerspruch zu liegen. Das ist aber nicht der Fall, sondern es liegt darin ein Beweis für unsre Ansicht über das Verbrennen des Pulvers. Weil der Widerstand geringer ist, darum ist die Verbrennung weniger weit vorgeschritten, und folglich trifft die höhere Gasspannung erst spätere oder weiter vorliegende Rohrstellen; die höhere Spannung wird also weiter in das Rohr hineingetragen und die Geschwindigkeitszuwachse müssen in den vordern Rohrtheilen größer sein als in dem normalen Rohre. Das Rohr wird also in seinen hinteren Theilen mehr entlastet.

Wir überlassen es dem Leser, sich ein Urtheil über diese neue Formel zu bilden; wir möchten sie aber benutzen, einige interessante Aufschlüsse

aus ihr zu ziehen, welche von großer Bedeutung sein würden, wenn die Formel richtig wäre.

Zunächst ist es schon unterhaltend in den Verbrennungsraum und den Konus hineinsehen zu können, und deshalb berechnen wir eine

Tabelle

über das Wachsen der Geschwindigkeiten bei der Bewegung der 24℔der Granate mit 4 ℔. Ladung durch den Uebergangskonus:

	Länge des Weges	Geschwindigkeit			
			Differenz	Mittel	Mittel für den ganzen Weg
	Zoll	Fuß	Fuß	Fuß	Fuß
a c	0,50	58			
	1	81	—	—	45
	1,20	90	—	—	
a b	1	139	—	—	
	2	171	32	155	
	3	194	23	182,5	188,5
	4	212	18	203	
	5	226	14	219	
	6	238	12	232	

Die Fig. 3, welche diese Tabelle mit darstellt, zeigt deutlich die drei verschiedenen Arten der Bewegung. Auf dem Wege c findet ein sehr schnelles Wachsen statt; die Zunahmen werden aber hier wie auf dem Wege b geringer mit dem Wachsen des Widerstandes.

Nachdem wir auf diese Weise die Bewegung auf das Speziellste verfolgt haben, wollen wir uns an eine andre wichtige Frage begeben, welche für

die Artillerie von größter Bedeutung ist. Vorher aber bitten wir, uns zu schützen vor dem Vorwurf der Projektemacherei.

45. Ohne Zweifel ist die Leistung der gezogenen Hinterlader in Bezug auf ihre Durchschlagskraft nicht hinreichend für die heutigen Anforderungen, weshalb ja Armstrong sein System verlassen hat. Untersuchen wir also die Frage, welcher Leistungen ist z. B. unser 24℔der in seiner jetzigen Länge fähig? Offenbar handelt es sich um die Ladung, welche die größte Geschwindigkeit giebt. Bei einem gegebenen Verbrennungsraume ist die Wahl der Ladungen aber bald beschränkt; unsre Aufgabe wird also sein, denjenigen Verbrennungsraum zu ermitteln, welcher in Verbindung mit der gegebenen Länge der Seele die höchst zu erwartende Geschwindigkeit liefert. Keineswegs darf man annehmen, daß diese durch beliebige Vergrößerung der Ladung beliebig sich erhöhen lasse.

Zu diesem Zwecke haben wir statt der Größe l (Ladung) die Länge des Verbrennungsraumes in die Formel einzuführen, indem wir z. B. setzen 1 Zoll Länge faßt so viel ℔, folglich r Zoll r mal so viel. Wir dürfen also ohne Weiteres für die Zahl l eine andere n r schreiben. Dann haben wir mittelst der Differenzialrechnung unsre Formel für die Variable r auf ihr Maximum zu untersuchen. Wir schreiben also

$$v = K \frac{(nr)^{\frac{1}{1,8}}}{Q^{1/2}} \sqrt{\frac{c}{2(r+c)} + \frac{b}{r+c+b}} \cdot \sqrt{\frac{r+c+b+4{,}5\,(L-(r+c+b))}{L}}$$

$$= K n^{\frac{1}{1,8}} \cdot \frac{r^{\frac{1}{1,8}}}{Q^{1/2}} \sqrt{\frac{c}{2(r+c)} + \frac{b}{r+c+b}} \cdot \frac{L - 3{,}5\,(r+c+b)}{L}.$$

Es ist nicht unsre Absicht, den Leser durch die Details der Rechnung zu ermüden; wir bemerken nur, daß man zu einigen für die Sache unwesentlichen Abkürzungen gezwungen ist, und daß wir schließlich finden

$$r = \left[\sqrt{\left\{\tfrac{36}{7} b\,(2b+c)\,(b+c)\,L + b^2\,(b+c)^2 + 4c^3\,(2b+c)\right\}} - (5bc + 3b^2 + 2c^2)\right] \cdot \frac{1}{2\,(2b+c)}.$$

Die Spezialrechnung giebt dann für den 24℔der r = 13 Zoll, einen Verbrennungsraum, welcher 9 ℔ Ladung faßt, dem man zur Noth aber

auch 10 ℔ geben könnte. Wir finden dann für 9 ℔ v = 1280 Fuß
„ 10 ℔ v = 1350 Fuß *)
als die größte Leistung unsers 24℔ders in seiner jetzigen Länge. In der That, wenn wir den Ladungsraum um noch 2 Zoll verlängern, also auch den Verbrennungsraum, so geben 10 ℔ nur 1250 Fuß, also weniger als 9 ℔ in jenem Raume. Wir sprechen diese Zahlen mit voller Bestimmtheit aus, da wir sie für richtig halten und glauben nur durch Versuche sie bestätigt oder widerlegt sehen zu können.

Entsprechend unsern bisherigen Erörterungen meinen wir auch, daß z. B. der bronzene 24℔der von so untergebrachten 9 ℔ nicht viel mehr würde zu leiden haben als jetzt von 6 ℔. Suchen wir nämlich den Werth von v für z = 0, so finden wir für 6 ℔ des jetzigen Rohres v = 298, für 9 ℔ eines mit verlängertem Verbrennungsraume 338 Fuß, also zwischen beiden einen Unterschied, welchen ohne Vergrößerung der höchsten Spannung die Vortheile einer großen Ladung erklären, denn die höchsten Spannungen finden nicht unmittelbar im Verbrennungsraume statt. Die weitere Ausbeutung dieser Frage bleibe dem Leser; wir begnügen uns, sie angedeutet zu haben, um vollständig vorbereitet zu sein, zu versuchen, uns ein Urtheil über das Verhältniß der treibenden Kräfte zu bilden. Nur wollen wir hinzufügen, daß eine wesentliche Erhöhung der Geschwindigkeiten sich nicht anderes würde erreichen lassen als durch eine bedeutende Verlängerung des Rohres, was indessen seine Schwierigkeiten haben würde, während der Ladungsraum eines 24℔ders leicht zum Zwecke eines Versuches sich würde verlängern lassen.

VII. Ueber die Spannung der Pulvergase.

46. Strenge genommen hat sich die innere Ballistik bisher fast nur um die Bestimmung der Höhe der Gasspannung des verbrannten Pul-

---

*) Die Zahl würde natürlich höher werden, wenn die Granate leichter würde; so gab der 4℔der der erleichterten Granate mit 1 ℔ Ladung schon 1314 Fuß. Es zeigte sich später, daß der Verbrennungsraum dieses Geschützes zu klein war, und daß das Einbringen der Ladung nur durch das Zusammenpressen mittelst des Schrauben- (Kegel-) Verschlusses ermöglicht war. Die scheinbar geringe Verlängerung des Verbrennungsraumes ließ die Geschwindigkeit sehr stark fallen — nur das Glycerin hat sie wieder aufwärts gebracht.

vers bemüht und in neueren Zeiten auch schon in Bezug auf die Verschiedenheit an verschiedenen Stellen des Rohres Erfolge gehabt. Die glatten Vorderlader gaben auch zu anderen Untersuchungen keine Veranlassung und namentlich nur sehr unbestimmte Auskunft. Die verwendeten Mittel waren allerdings sehr verschieden und merkwürdigerweise gab es grade so viele verschiedene, sehr von einander abweichende Messungen. Auch wir sehen uns veranlaßt, neue Resultate hinzuzufügen, bemerken aber ausdrücklich dabei, daß unsre Absicht bei dieser Mittheilung nur darin besteht, einen Weg zu bahnen, welcher nach unserm Dafürhalten alle Fragen am einfachsten lösen kann. Wir werden diese Resultate geben, obgleich wir sehr wohl wissen, daß sie in wesentlichen Punkten von denen der neuesten scheinbar direkten Messungen abweichen.

Um die Größe einer Kraft zu erkennen, fragt man nach dem, was sie geleistet hat, und vergleicht diese Leistungen mit denen einer bekannten Kraft. Die Kraft, auf welche wir alle anderen beziehen ist die Schwere, welche ja die Eigenschaft hat, daß sie strebt jedem frei fallenden Körper während einer Sekunde eine Geschwindigkeit $g = 31{,}25$ Fuß zu ertheilen, während einer andern Zeit t die Geschwindigkeit gt. Durch Widerstand wird diese Kraft absorbirt, dennoch ist sie vorhanden und äußert sich durch den Druck des Gewichtes. Dieser Druck ist also das Resultat ihrer Thätigkeit; wäre ihr Streben, den Körpern Geschwindigkeit zu ertheilen geringer oder bedeutender, so würde auch der Druck gegen Widerstände geringer oder größer sein. Da der Druck oder das Gewicht nicht eine Eigenschaft der Materie ist, sondern die Wirkung einer äußeren Kraft, der Anziehung der Erde, so läßt er sich in seinen Erscheinungen durch einen Begriff der Mechanik auffassen als das Produkt einer bewegenden Kraft und eines bewegten Etwas. Seine Größe und ebenso die Größe der Anziehungskraft sind bekannt, erstere als Gewicht des Körpers und letztere als Beschleunigung beim freien Falle; heißt das Gewicht Q, so setzt man $Q = gM$ und nennt das durch M bezeichnete bewegte Etwas die Masse des Körpers, wo Q in einer Gewichtseinheit, g in einer Längeneinheit ausgedrückt ist. Die Größe M ist deshalb nur ein mathematisches Symbol, welches strenge genommen nicht die Benennung einer Gewichtseinheit haben kann. Aus der Grundgleichung $Q = gM$ folgert man $M = \frac{Q}{g}$, wobei g allein als Maß für

auch 10 ℔ geben könnte. Wir finden dann für 9 ℔ v = 1280 Fuß
- 10 ℔ v = 1350 Fuß *)
als die größte Leistung unsers 24℔ders in seiner jetzigen Länge. In der That, wenn wir den Ladungsraum um noch 2 Zoll verlängern, also auch den Verbrennungsraum, so geben 10 ℔ nur 1250 Fuß, also weniger als 9 ℔ in jenem Raume. Wir sprechen diese Zahlen mit voller Bestimmtheit aus, da wir sie für richtig halten und glauben nur durch Versuche sie bestätigt oder widerlegt sehen zu können.

Entsprechend unsern bisherigen Erörterungen meinen wir auch, daß z. B. der bronzene 24℔der von so untergebrachten 9 ℔ nicht viel mehr würde zu leiden haben als jetzt von 6 ℔. Suchen wir nämlich den Werth von v für z = 0, so finden wir für 6 ℔ des jetzigen Rohres v = 298, für 9 ℔ eines mit verlängertem Verbrennungsraume 338 Fuß, also zwischen beiden einen Unterschied, welchen ohne Vergrößerung der höchsten Spannung die Vortheile einer großen Ladung erklären, denn die höchsten Spannungen finden nicht unmittelbar im Verbrennungsraume statt. Die weitere Ausbeutung dieser Frage bleibe dem Leser; wir begnügen uns, sie angedeutet zu haben, um vollständig vorbereitet zu sein, zu versuchen, uns ein Urtheil über das Verhältniß der treibenden Kräfte zu bilden. Nur wollen wir hinzufügen, daß eine wesentliche Erhöhung der Geschwindigkeiten sich nicht anderes würde erreichen lassen als durch eine bedeutende Verlängerung des Rohres, was indessen seine Schwierigkeiten haben würde, während der Ladungsraum eines 24℔ders leicht zum Zwecke eines Versuches sich würde verlängern lassen.

VII. Ueber die Spannung der Pulvergase.

46. Strenge genommen hat sich die innere Ballistik bisher fast nur um die Bestimmung der Höhe der Gasspannung des verbrannten Pul-

---

*) Die Zahl würde natürlich höher werden, wenn die Granate leichter würde; so gab der 4℔der der erleichterten Granate mit 1 ℔ Ladung schon 1314 Fuß. Es zeigte sich später, daß der Verbrennungsraum dieses Geschützes zu klein war, und daß das Einbringen der Ladung nur durch das Zusammenpressen mittelst des Schrauben- (Kegel-) Verschlusses ermöglicht war. Die scheinbar geringe Verlängerung des Verbrennungsraumes ließ die Geschwindigkeit sehr stark fallen — nur das Glycerin hat sie wieder aufwärts gebracht.

vers bemüht und in neueren Zeiten auch schon in Bezug auf die Verschiedenheit an verschiedenen Stellen des Rohres Erfolge gehabt. Die glatten Vorderlader gaben auch zu anderen Untersuchungen keine Veranlassung und namentlich nur sehr unbestimmte Auskunft. Die verwendeten Mittel waren allerdings sehr verschieden und merkwürdigerweise gab es grade so viele verschiedene, sehr von einander abweichende Messungen. Auch wir sehen uns veranlaßt, neue Resultate hinzuzufügen, bemerken aber ausdrücklich dabei, daß unsre Absicht bei dieser Mittheilung nur darin besteht, einen Weg zu bahnen, welcher nach unserm Dafürhalten alle Fragen am einfachsten lösen kann. Wir werden diese Resultate geben, obgleich wir sehr wohl wissen, daß sie in wesentlichen Punkten von denen der neuesten scheinbar direkten Messungen abweichen.

Um die Größe einer Kraft zu erkennen, fragt man nach dem, was sie geleistet hat, und vergleicht diese Leistungen mit denen einer bekannten Kraft. Die Kraft, auf welche wir alle anderen beziehen ist die Schwere, welche ja die Eigenschaft hat, daß sie strebt jedem frei fallenden Körper während einer Sekunde eine Geschwindigkeit $g = 31{,}25$ Fuß zu ertheilen, während einer andern Zeit t die Geschwindigkeit gt. Durch Widerstand wird diese Kraft absorbirt, dennoch ist sie vorhanden und äußert sich durch den Druck des Gewichtes. Dieser Druck ist also das Resultat ihrer Thätigkeit; wäre ihr Streben, den Körpern Geschwindigkeit zu ertheilen geringer oder bedeutender, so würde auch der Druck gegen Widerstände geringer oder größer sein. Da der Druck oder das Gewicht nicht eine Eigenschaft der Materie ist, sondern die Wirkung einer äußeren Kraft, der Anziehung der Erde, so läßt er sich in seinen Erscheinungen durch einen Begriff der Mechanik auffassen als das Produkt einer bewegenden Kraft und eines bewegten Etwas. Seine Größe und ebenso die Größe der Anziehungskraft sind bekannt, erstere als Gewicht des Körpers und letztere als Beschleunigung beim freien Falle; heißt das Gewicht Q, so setzt man $Q = gM$ und nennt das durch M bezeichnete bewegte Etwas die Masse des Körpers, wo Q in einer Gewichtseinheit, g in einer Längeneinheit ausgedrückt ist. Die Größe M ist deshalb nur ein mathematisches Symbol, welches strenge genommen nicht die Benennung einer Gewichtseinheit haben kann. Aus der Grundgleichung $Q = gM$ folgert man $M = \frac{Q}{g}$, wobei g allein als Maß für

die Beschleunigung der Erdschwere zu betrachten ist, während man für die Zahl M auch als die Einheit der Masse die Benennung von Q beibehält, weil der Vergleich von Körpern gleicher Materie zeigt, daß die Gewichte ihren räumlichen Größen proportional sind und weil sich dieses Gesetz natürlich auf die Größen der Massen überträgt. Giebt nun eine Kraft einem Körper von dem Gewichte Q eine Geschwindigkeit 2 g, so ist sie offenbar doppelt so groß als die Schwerkraft, d. h. würde sie statt des Körpers auf einen Widerstand drücken, so würde ihr Druck doppelt so groß als der des Körpers sein. Die Größe einer Kraft und die Größe ihres Druckes sind also ein Begriff und werden gemessen durch den Vergleich mit der Schwerkraft, indem man das Gewicht des bewegten Körpers multiplizirt mit der Zahl, welche zeigt, wie viel mal größer die in der Zeiteinheit ertheilte oder zu erwartende Geschwindigkeit ist, als die Größe $g = 31{,}25$ Fuß. Wäre also eine Geschwindigkeit des Körpers Q gleich v, so würde $Q\frac{v}{g}$ ein Maß für die treibende Kraft sein. Benutzt man nun statt $\frac{Q}{g}$ den Begriff Masse M, so ist also die Kraft gemessen durch das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit.

47. Bei diesem Vergleiche ist vorausgesetzt, daß die Kraft eine ganze Sekunde lang wirken könne; da das in unserm Falle nicht stattfindet, sondern durch das Sinken der Spannungen in jedem Zeittheilchen eine neue Kraft thätig ist, so haben wir den Zuwachs an Geschwindigkeit für jeden einzelnen Moment zu bestimmen und diese durch die Division mit dem Zeittheilchen auf die Einheit der Zeit, also auf eine Sekunde zu reduziren. Das heißt, wir haben den Quotienten $\frac{dv}{dt}$ zu bilden. Es war nun $v = \frac{dz}{dt}$ oder $dt = \frac{dz}{v}$, also wird $\frac{dv}{dt}$ sich darstellen durch $dv : \frac{dz}{v} = v\frac{dv}{dz}$, oder man kann auch sagen, es sei $\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dz} \cdot \frac{dz}{dt} = v\frac{dv}{dz}$. Ist uns dieser Ausdruck bekannt, so haben wir zur Ermittlung der treibenden Kraft $\frac{Q}{g} \cdot v\frac{dv}{dz}$ zu bilden.

Wir beginnen mit der Aufsuchung der in den Zügen wirkenden Kräfte, und setzen deshalb den von z unabhängigen Theil der Geschwindigkeitsformel konstant gleich C, also

$$\frac{dv}{dz} = C. \frac{d\,\frac{R + 4{,}5\,z}{R + z}}{dz} = C. \frac{3{,}5\,R}{(R + z)^2}$$

und somit

$$\frac{Q}{g} v \frac{dv}{dz} = \frac{Q}{g} \cdot C^2 . \frac{3{,}5\,R\,(R + 4{,}5\,z)}{(R + z)^3},$$

als einen Ausdruck für die Größe und Abnahme der Spannungen im gezogenen Theile der Seele.

Führen wir den Werth von C wieder ein, so wird die treibende Kraft, da

$$C^2 = \left(1226 . \frac{l^{\frac{1}{1{,}8}}}{Q^{1/2}} . \frac{h^{1/2}}{R^{1/2}}\right)^2 = 1226^2 . \frac{l^{\frac{2}{1{,}8}}}{Q} . \frac{h}{R} \text{ ist,}$$

$$\frac{Q}{g} \frac{dv}{dt} = \frac{1226^2\, l^{\frac{2}{1{,}8}}\, h\,(R + 4{,}5\,z)\,3{,}5}{g\,(R + z)^3}$$

in Pfunden.

Dieser Ausdruck sagt: Die Größe der beschleunigenden Kräfte ist von dem Gewichte des Geschosses unabhängig und nur bestimmt durch die Ladung und die Abmessungen der Geschützseele hinter dem Orte, an welchem momentan das Geschoß sich befindet.

48. Es kann freilich noch fraglich sein, ob dies die Größe der Spannungen selbst ist — und in der That erhalten wir auch nur den Theil der Kraft, welchen die Reibung als entgegenwirkende Kraft übrig läßt; den Luftwiderstand im Rohre glauben wir vernachlässigen zu dürfen. Wir können die Reibung als eine Vergrößerung des Gewichtes betrachten und dehnen dann den Satz dahin aus, daß die Spannung der Pulvergase auch von der Reibung unabhängig ist*).

Die Spannungen, welche von verschiedenen Ladungen herrühren, verhalten sich nahe wie die Gewichte derselben,

*) Nicht die errechnete Zahl. — Große Elevationen sind für Rohr und Laffete schädlich, weil das Ausweichen erschwert wird.

genau wie die 1,8. Wurzeln aus den Quadraten der Ladungsgewichte. Dieser Satz bewahrheitet den Satz, daß die Spannungen der Gase etwas größer sind, als die Dichtigkeiten derselben verlangen. Geben wir nun zu, daß die Pulvergase je nach ihrer Menge geringe Temperaturunterschiede haben können, so alterirt dieser Satz nicht das Mariotte'sche Gesetz, sondern wir sprechen es aus: Das Mariotte'sche Gesetz, nach welchem die Spannungen aller Gase ihrer Dichtigkeit (bei gleichen Temperaturgraden) proportional sind, gilt auch für solche Drucke, wie sie beim Pulver stattfinden und wie sie bisher der physikalischen Beobachtung nicht zugänglich waren. — Wir erinnern hierbei an das Verhalten der Geschwindigkeiten für verschiedene Schießwollladungen. —

49. Ueber die Unabhängigkeit der Spannungen von dem Gewichte des Geschosses*) müssen wir noch einige Worte hinzufügen. Es scheint dieser Satz dem allgemeinen Gefühle wie auch der Erfahrung zu widersprechen. Zeigten nicht alle Schießversuche, daß bei Anwendung schwererer Vorlagen die Röhre mehr litten? Wir geben das theilweise zu, erinnern aber zuvor, daß wir in dem vorliegenden Falle von Hinterladern sprechen, und daß alle bisher aus Vorderladern verwendeten Geschosse hinsichtlich ihrer Gewichte verschwindend zu nennen sind gegen den Widerstand, welchen unser heutiges Geschoß im Uebergangskonus findet. Darauf gestützt haben wir eben behauptet, daß in unsern Hinterladern die Verbrennung des Pulvers vor dem Eintritte des Geschosses in die Züge eine vollständige sei, und daß die Spannungen einer und derselben Gasmenge unter Berücksichtigung der Temperaturabnahme dem Mariotte'schen Gesetze unterworfen sei. Ganz anders ist es in Vorderladern. Das schwerere Geschoß wird langsamer bewegt, oder es gebraucht längere Zeit, an einen bestimmten Ort zu kommen als ein leichteres, d. h. hinter einem schwereren Geschosse ist die Gasentwicklung in einem kleineren Raume vor sich gegangen, folglich ist die Spannung größer als hinter einem leichteren Geschosse. In welchem Grade dies indessen stattfindet, kann man entnehmen aus einem Versuche, welchen Piobert in seinem

*) Eine Feder ist gleich stark gespannt, wenn sie bis auf eine gewisse Weite zusammengedrückt oder ausgedehnt ist, ob dies langsam oder schnell geschah, also dem Raume nach ist ihre Spannung von der Last unabhängig.

Cours d'Artillerie mittheilt: Man hatte ein Gewehr mit 5 Grammen Pulver und nach und nach mit 1 bis 13 Kugeln geladen; dann fand man aus den Anfangsgeschwindigkeiten

Zahl der Kugeln	1	2	3	4	5	6	7
Verhältniß der Spannungen	2500,	2700,	2880,	2875,	2920,	2950,	2975,
Zahl der Kugeln	8	9	10	11	12	13	
Verhältniß der Spannungen	3000						3040,

und man sieht, daß die Spannungen bei 1 Kugel zu denen bei 13 Kugeln sich wie 25 : 30½ verhielten.

Aehnlich gestalten sich die Umstände bei der ersten Bewegung unsers Geschosses; hier sind die Spannungen abhängig von der Schnelligkeit, mit welcher das Geschoß vorwärts geht, also von dem Gewichte des Geschosses und der Steilheit des Konus. Nach dem obigen Beispiele ist der Unterschied aber sehr klein, und der ganze Weg so kurz, daß wir auch hier, also ganz allgemein, in gezogenen Hinterladern die Größe der Spannung als nicht durch die Geschoßschwere bedingt, ansehen.

50. Aus diesen Sätzen schließen wir, daß das Gesetz der Abnahme der Spannungen während der Bewegung des Geschosses durch den Uebergangskonus sehr nahe dasselbe sein muß wie dasjenige, welches während der Bewegung durch die Züge bestimmend ist, und daß, wenn wir das letztere kennen, wir nur noch die Größe des Widerstandes im Uebergangskonus und das Gesetz seiner Wirkung kennen müssen, um bestimmte Zahlen für die Größe der Spannung an jedem beliebigen Punkte des Rohres angeben zu können. Wir werden versuchen, uns ein Bild von den Zahlenwerthen der Spannungen zu machen — aber vorher erlauben wir uns die Frage: Hat die Kenntniß der wirklichen Größen der Spannungen einen praktischen Hintergrund? Ist es für die Konstruktion von Geschützröhren nicht hinreichend, das Gesetz der Abnahme zu kennen und geleitet durch die Erfahrungen der Artillerie die hinteren Metallstärken zu bestimmen, da über die Verwerthung der wirklichen Druckgrößen, wenigstens unsers Wissens, Zuverlässiges in nur sehr geringem Umfange bekannt ist? Es wird wohl bei der Geschützkonstruktion in Bezug auf ihre äußeren Formen und Abmessungen noch lange so bleiben, wie es bisher war. Nach langen Erfahrungen giebt man dem Rechner das zur Schonung der Laffete erforderliche Gewicht und Hintergewicht des Rohres, die ungefähre Länge desselben und ungefähren Anhalt für

den Hebelsarm des Hintergewichtes, und Rechner und Zeichner passen in diese Angaben das Rohr hinein, dessen Schießprobe über die Vervielfältigung des Modells entscheidet.

Tritt jedoch die Frage an uns heran, zu entscheiden über die Wirkung von neuen Schießpräparaten wie z. B. Barytpulver, so werden wir derselben weiter unten unsre Aufmerksamkeit widmen.

51. Der eben berechnete Druck der Gase bezieht sich auf die Grundfläche der Geschosse, welche den Durchmesser d haben möge; um den Druck für die Flächeneinheit zu finden, und einen Maßstab für alle Kaliber zu erhalten hätten wir mit $\frac{d^2}{4}\pi = F$ zu dividiren. Außerdem ist es Sitte, diesen Druck in Atmosphären darzustellen, deren jede ein Gewicht von 14 Zollpfunden hat, so daß wir auch noch den Divisor 14 hinzuzufügen haben. Beachten wir auch, daß 1226 in Fußen, die Rohrabmessungen aber in Zollen angegeben sind, so haben wir, da auch g Fuße bedeutet, mit 12 zu multipliziren. Wir erhalten also bei vorläufiger Nichtberücksichtigung der Reibung in den Zügen die Spannungen

$$S \frac{1226^2 \cdot h\,(R + 4{,}5\,z)\;3{,}5 \cdot 12}{14 \cdot 31{,}25\,F\,(R + z)\,3} \cdot \frac{2}{1{,}8}.$$

Wenden wir diese Formel auf den 24Ubder an und machen dabei die Voraussetzung, daß wir für kleine Intervalle die Spannungen als nahe konstant ansehen dürfen und zwar der Mitte eines Intervalls entsprechend, so finden wir beispielsweise für 0 bis 5 Zoll in den Zügen des 24Ubders bei 6 U. Ladung

$$\sum_{z=0}^{z=5} S = \frac{1226^2 \cdot 7{,}2\,(16{,}43 + 4{,}5 \cdot 2{,}5)\;42}{14 \cdot 31{,}25 \cdot 2{,}9^2\,\pi\,(16{,}43 + 2{,}5)^3} \cdot 6 \cdot \frac{2}{1{,}8}.$$

52. Bei jeder andern Ladung haben wir auf die, Seite 51 der „Ballistik der gezogenen Geschütze" gegebene Tabelle, von $\log 1 \frac{1}{1{,}8}$ aufmerksam zu machen, welche wir hier wiederholen und etwas ausdehnen:

l	$\log \sqrt[1,8]{l}$	l	$\log \sqrt[1,8]{l}$	l	$\log \sqrt[1,8]{l}$	l	$\log \sqrt[1,8]{l}$	l	$\log \sqrt[1,8]{l}$	l	$\log \sqrt[1,8]{l}$	l	$\log \sqrt[1,8]{l}$	l	$\log \sqrt[1,8]{l}$
0,2	0,61168—1	1	0	2	0,16724	3,6	0,30906	7	0,46950	12	0,59955	17	0,68358	22	0,74578
0,25	0,66552—1	1,1	0,02300	2,1	0,17901	3,8	0,32210	7,5	0,48615	12,5	0,60940	17,5	0,69058	22,5	0,75121
0,3	0,70951—1	1,2	0,04399	2,2	0,19023	4	0,33448	8	0,50172	13	0,61886	18	0,69737	23	0,75652
0,35	0,74670—1	1,3	0,06330	2,4	0,21123	4,2	0,34625	8,5	0,51634	13,5	0,62796	18,5	0,70398	23,5	0,76171
0,4	0,77892—1	1,4	0,08118	2,5	0,22108	4,4	0,35747	9	0,53013	14	0,63674	19	0,71041	24	0,76658
0,5	0,83276 —1	1,5	0,09783	2,6	0,23054	4,5	0,36290	9,5	0,54318	14,5	0,64521	19,5	0,71668	25	0,77663
0,6	0,87675—1	1,6	0,11340	2,8	0,24842	5	0,38832	10	0,55556	15	0,65338	20	0,72279	26	0,78609
0,7	0,91394—1	1,7	0,12803	3	0,26507	5,5	0,41131	10,5	0,56733	15,5	0,66130	20,5	0,72875	27	0,79520
0,8	0,94616—1	1,8	0,14182	3,2	0,28806	6	0,43231	11	0,57855	16	0,66895	21	0,73456	28	0,80397
0,9	0,97458—1	1,9	0,15486	3,4	0,29527	6,5	0,45162	11,5	0,58928	16,5	0,67638	21,5	0,74025	30	0,82062

53. Nach der Ausführung der Rechnung erhalten wir folgende

Tabelle

der beschleunigenden Kräfte in den Zügen des 24Uders bei 4 und 6 ℔ Ladung auf den Quadratzoll.

Intervalle in den Zügen Zoll	Beschleunigende Kraft in Atmosphären à 14 ℔ pro Quadratzoll			
	4 ℔ Ladung	Differenz	6 ℔ Ladung	Differenz
0–5	748	75	1174	118
5—10	673	120	1056	188
10—15	553	116	868	183
15–20	437	104	685	163
20–30	333	97	522	152
30—40	236	62	370	98
40—50	174	41	272	63
60—70	133	26	209	44
70—80	105	20	165	32
80—90	85	17	133	26
90—100	68		107	

54. Man sieht recht deutlich, wie sehr die Spannungen verlieren müssen, um die beschleunigenden Kräfte so schnell sinken zu lassen. Uebrigens findet diese schnelle Abnahme nicht von Anfang an in gleicher Weise statt; sondern die Tabelle zeigt, daß sie in den ersten 5 Zoll bei 6 ℔ nur 118, dann in den folgenden 5 Zoll aber 188 Atmosphären beträgt. Daraus würde sich ergeben, vorausgesetzt, daß unser System richtig ist, die Kurve, welche jene Tabelle darstellt, muß einen Wendepunkt haben. Diese Erscheinung wäre nicht unnatürlich, und sie veranlaßt

uns, die Kurve analytisch zu untersuchen. Ein Wendepunkt wird angezeigt, wenn der zweite Differenzialquotient durch eine reelle Wurzel verschwindet, der dritte aber bei dieser Wurzel einen reellen Werth giebt. Dies wird natürlich nur durch den variablen Theil $\frac{R + 4{,}5\,z}{(R+z)^3}$ bestimmt; setzen wir also $x = \frac{R + 4{,}5\,z}{(R+z)^3}$, so wird

$$\frac{dx}{dz} = \frac{1{,}5\,R - 9\,z}{(R+z)^4},$$

$$\frac{d^2x}{dz^2} = \frac{-15R+27z}{(R+z)^5},$$

$$\frac{d^3x}{dz^3} = \frac{-108\,R + 102\,z}{(R+z)^6}.$$

Der zweite Differenzialquotient $\frac{d^2x}{dz^2}$ verschwindet für $z = \frac{5}{9}\,R$, während $\frac{d^3x}{dz^3}$ für diesen Werth nicht Null wird und nicht imaginair werden kann. Die Kurve der treibenden Kräfte zeigt danach wirklich einen Wendepunkt, welcher beim 24Pfünder auf $z = \frac{5}{9} \cdot 16{,}43 = 9{,}13$ Zoll liegt, und von welchem ab das Schwinden der Kräfte in höherer Weise geschieht.

55. Sind diese Auseinandersetzungen gestattet, so ist dabei zu beachten, daß eine Kurve mit Wendepunkt sehr bestimmt über gewisse Grenzen verlängert werden kann, ohne zu sehr willkürlich genannt werden zu können, wenn diese Verlängerung eben keine große ist. Wir möchten davon Gebrauch machen, um uns vorstellen zu können, wie die Kräfte im Konus sich gestalten würden, wenn die Hindernisse dieselben wären, wie in den Zügen. (Wir erinnern daran, daß solche Interpolationen über die Grenzen auch von Meistern der Wissenschaft ausgeführt sind z. B. bei Bildung von Spannungsreihen der Wasserdämpfe von sehr hoher Temperatur, bei Pyrometern u. s. w.). Wir würden durch graphische Interpolation für $z = 0$ dann bei 6 Pfd. Ladung 1210 Atmosphären, für den vorhergehenden Zoll etwa 1220 Atmosphären, für die Mitte des Konus etwa 1260 Atmosphären finden und durch Uebertragung auf 4 Pfd. etwa 800 Atmosphären. Denken wir dann die Ladung

von 6 U. in einem unveränderlichen Raume $r + c$ verbrannt, so ergiebt sie etwa 1290 Atmosphären.

56. Es bleibt uns nun noch, eine Vorstellung von den Widerständen uns zu schaffen, um davon eine Anwendung zu machen auf die Bestimmung der Größe der Spannungen. Dabei wollen wir in folgender Weise verfahren: Wir nehmen an, der Widerstand W sei eine Kraft, welche der Spannungskraft S direkt entgegenwirkt, so daß für die Bewegung des Geschosses die Kraft $S - W$ übrig bleibt. Nun versteht man unter lebendiger Kraft eines Körpers das Produkt aus seiner Masse in das Quadrat der Geschwindigkeit, während man die Arbeit einer Kraft das Produkt ihrer Größe in den zurückgelegten Weg nennt. Zwischen beiden Begriffen besteht die Beziehung, daß die Arbeit der Kraft gleich ist dem halben Zuwachse an lebendiger Kraft, also

$$\frac{1}{2}\frac{Q}{g}(v_1^2 - v_0^2) = (S - W)\,dx \text{ oder } \frac{1}{2}\frac{Q}{g}\frac{(v_1^2 - v_0^2)}{dx} = S - W$$

wenn dx den entsprechenden Weg ausdrückt. Den linken Theil der Formel werden wir leicht als unsern bisherigen Ausdruck $\frac{Q}{g} v \frac{dv}{dx}$ erkennen, denn wir können dafür schreiben

$$\frac{Q}{g} \cdot \frac{v_1 + v_0}{2} \frac{(v_1 - v_0)}{dx},$$

wo $\frac{v_1 + v_0}{2}$ die mittlere Geschwindigkeit v und $v_1 - v_0$ den Zuwachs dv bezeichnet. Wir dürfen also setzen

$$\frac{Q}{g} v \frac{dv}{dx} + W = S,$$

als Ausdruck für die Größe der Spannungen. Nehmen wir ferner an, was der Theorie des Widerstandes entspricht, daß der Widerstand im Konus nach Verhältniß der Quadrate der Geschwindigkeiten wachse, daß seine Größe aber bei verschiedenen Kalibern dem Quadrate der Durchmesser proportional sei, denn wir haben bemerkt, daß bei der Berechnung der Geschwindigkeiten die Widerstandsfaktoren verschwinden. In den Zügen halten wir die Widerstände proportional den Geschwindigkeiten selbst, weil unsre Formel darauf hinweist, da der Theil der Geschwindigkeit, welcher dem Konus angehört, sich als Quadratwurzel darstellt, während der Faktor $\frac{R + 4{,}5\,z}{R + z}$ keine solche enthält.

Für den Konus haben wir die Bedeutung, daß $W = A v^2$ zu setzen ist, wo A sich bezieht auf die Masse des Widerstandes, nämlich wenn wir, wie wir dazu in verschiedenen Versuchen den Grund glauben finden zu dürfen, annehmen, daß der Widerstand des 4℔bers etwa 2000 ℔ beträgt und nun nach dem Verhältniß der Quadrate der Kaliberdurchmesser für den 24℔ber 2000 ℔ $\cdot \frac{3^2}{5{,}7^2} = 7222$ ℔ erhalten, so ist dies eine Masse M mit der Geschwindigkeit g und für das Quadrat der Geschwindigkeiten wird $W = 7222 \cdot \frac{v^2}{g^2}$. Die Spannung der Gase wird danach

$$S = \frac{54{,}3}{g} v \frac{dv}{dx} + 7222 \cdot \frac{v^2}{g^2}.$$

57. Nach der unter Nr. 44 gegebenen Tabelle für die Geschwindigkeiten während der Bewegung durch den Konus haben wir für den letzten Zoll die Mittelgeschwindigkeit $v = 232$ Fuß und die Zunahme $dv = 12$ Fuß, während also $dx = 1/12$ Fuß ist. Mithin wird

$$S = \frac{54{,}3 \cdot 232}{31{,}25} \cdot \frac{12 \cdot 12}{1} + 7222 \frac{232^2}{31{,}25^2} \text{ in Pfunden,}$$

oder $$= 58000 + 398055 = 456055 \text{ Pfund.}$$

Diese Zahl haben wir wieder in Atmosphären auszudrücken und auf 1 Quadratzoll zu reduziren; wir müssen also mit $14 \cdot 2{,}9^2 \pi$ dividiren. Das giebt

$$\frac{456055}{14 \cdot 2{,}9^2 \pi} ℔ = 1233 \text{ Atmosphären.}$$

Beide Summanden enthielten den Faktor $l^{1/1,8}$, also können wir von 4 ℔ zu 6 ℔ leicht übergehen, indem wir rechnen $1233 \left(\frac{6}{4}\right)^{2/1,8}$, wodurch wir für 6 ℔ erhalten 1930 Atmosphären als die Spannung in dem den Zügen am nächsten liegenden Zoll des Konus, d. h. in dem gezogenen Theile des Konus selbst.

Für den Ueberschuß der Spannkraft über den Widerstand, wenn statt des Konus ein Cylinder wäre, oder für die beschleunigende Kraft hatten wir vorhin gefunden 1220 Atmosphären. Die Spannungen stehen also zu den beschleunigenden Kräften in dem Verhältnisse 1930 : 1220, d. h. wir haben, um aus der Tabelle der Nr. 53 die Spannungen zu

finden, ihre Zahlen mit $\frac{1930}{1220}$ oder mit $^3/_2$ zu multipliziren und erhalten dadurch folgende

Tabelle

der Spannungen im 24Uder bei 4 U. und 6 U. Ladung (Fig. 4).

Zoll in den Zügen	Spannungen in Atmosphären pro Quadratzoll	
	4 U. Ladung	6 U. Ladung
0—5	1175	1845
5—10	1065	1685
10—15	880	1425
15—20	680	1090
20—30	515	790
30—40	378	565
40—50	280	425
50—60	210	328
60—70	164	260
70—80	130	210
80—90	108	170

Ungefähr drei Zoll rückwärts von den Zügen erhalten wir dann etwa 2000 Atmosphären; der freie Raum hinter dem Geschosse ist hier 16 Zoll. Gesetzt der Widerstand wäre so groß, daß gar keine Bewegung erfolgen könnte, so würde das Mariotte'sche Gesetz für den Verbrennungsraum die Spannung $2000 . \frac{16}{9{,}23} = 3467$ Atmosphären ergeben.

Wenn wir weiter berechnen, daß der Verbrennungsraum lose eingeschüttet $8^1/_3$ U. Pulver fassen kann, so findet man durch 3467 $\left(\frac{\delta^1/_3}{6}\right)^{2/1,3}$ die Spannung des Pulvers in seinem eigenen Raume 4500 Atmosphären. Somit haben wir zu all den bestehenden Zahlen eine neue hinzugefügt; wir wollen nicht dafür streiten, daß sie besser sei als andere, nur sei bemerkt, daß Gmelin nach der Analyse des Pulvers die Spannung seiner Gase in einem vierfachen Raume zu 1480, in seinem eigenen Raume also zu 5920 Atmosphären berechnet.

VIII. Ueber den Vergleich der Gasspannungen besonderer Schießmittel mit denen des Pulvers.

58. Man sieht, daß die Ermittelung der Gasspannungsgesetze ein ziemlich mühsames Geschäft ist, und nicht das allein — es erfordert auch eine große Zahl von Erfahrungen aus vorhergegangenen Versuchen. Daß die Kenntniß der Spannungen auf die Konstruktion von geringem Einflusse sein würde, haben wir schon bemerkt, und darum versuchen wir es auch nicht, auf diesen Gegenstand näher einzugehen. Aber die Sache liegt so, daß wir aufgefordert sein können, schnell und bestimmt über den Werth eines neuen Schießmittels zu entscheiden. Die tägliche Erfahrung zeigt ja, wie sehr die Artillerie jetzt gedrängt wird. Vor Kurzem erschien die Schießwolle, dann das sogenannte weiße Pulver des Herrn Hauptmann Schultze, aus Amerika kam das prismatische Pulver und Belgien machte Versuche über den Zusatz von Baryt. Alle diese neuen Dinge bezweckten, die Kraft unsers bestehenden Pulvers in seiner ballistischen Wirkung zu überbieten. Die Schießwolle und das weiße Pulver sind vorläufig aus dem Bereiche der Artillerie zurückgetreten, nachdem sie sich als zu brisant erwiesen haben — um so mehr wollen die beiden andern Präparate berücksichtigt sein, da sie versprechen, bei gleicher ballistischer Wirkung weniger brisant zu sein als das Pulver und das selbst noch bei höherer ballistischer Wirkung.

Die Möglichkeit der Erfüllung geht aus den hier besprochenen Grundsätzen hervor, die wirkliche Erfüllung muß der Versuch geben.

59. Es ist aber auch erreichbar, unser Pulver selbst weniger brisant zu machen und seine ballistische Wirkung doch zu steigern, wie das der

mitgetheilte Versuch des Herrn Oberstlieutenant v. Uchatius zeigt. Man verlängert den Verbrennungsraum und vergrößert dafür die Ladung etwas. Im weiteren Verfolge jenes Versuches ist dieses Prinzip vollständig bewahrheitet, indem selbst Schießwolle gezwungen wurde, weniger heftig auf den hinteren Theil des Rohres zu wirken. Versuchen wir beispielsweise den Ladungsraum der größten Wirkung, dessen Verbrennungsraum wir auf 13 Zoll bestimmt haben, für diesen Zweck zu verwenden, so fragt es sich zunächst, welche Ladung entspricht der des jetzigen 24 ℔. ders von 6 ℔. in Bezug auf die Anfangsgeschwindigkeit, und dann, wie verhalten sich am Anfange der Züge die Spannungen? Bei dem verlängerten Verbrennungsraum geben 9 ℔. Ladung $v = 1280$ Fuß, 6 ℔. geben jetzt 1167 Fuß; ist x die zu suchende Ladung, so wird $1280 : 1167 = 9^{1/1,8} : x^{1/1,8}$ und daraus $x = 7{,}62$ Fuß.

Die Spannungen in den Zügen verhalten sich wie die beschleunigenden Kräfte, und sind für $z = 0$ bestimmt durch das Verhältniß $\frac{6^{2/1,8}}{R^2} : \frac{7{,}62^{2/1,8}}{R,^2}$, da h für beide Fälle gleich ist, also hier durch

$$\frac{6^{2/1,8}}{16{,}43^2} : \frac{7{,}62^{2/1,8}}{19^2} = 1 : 9{,}75.$$

Suchen wir dagegen für gleiche brisante Wirkung die entsprechende Ladung und Geschwindigkeit des veränderten Rohres, so haben wir zu setzen

$$\frac{6^{2/1,8}}{16{,}43^2} = \frac{x^{2/1,8}}{19^2},$$

woraus $x = 7{,}96$ ℔. und $v = 1180$ Fuß. Es ist ersichtbar, daß nach keiner Richtung ein großer Unterschied stattfindet; um die Resultate zu erreichen, wie der Versuch mit dem Gewehre sie ergeben hat, müßten unsre Röhre eben auch 63 Kaliber lang sein, während jetzt die ganze Seele davon kaum 20 mißt. Aber für uns hat diese Rechnung noch den Sinn, daß diese Vergrößerung der Ladung dem Rohre selbst keinen Schaden bringen kann.

60. Für die Besprechung besonderer Schießmittel wollen wir das am wenigsten brisante als Beispiel wählen, nämlich die atmosphärische Luft in der Windbüchse, wofür wir die bezüglichen Versuche aus Gehler's physikalischem Wörterbuch nehmen. Bei einer Luftverdichtung von

nur 36 Atmosphären schlug noch beim fünften Schusse die Bleikugel auf 228 Schritt durch ein 3/4 zölliges Brett. Die Spannung der Luft war hier offenbar schon sehr gefallen und doch war die Wirkung noch so bedeutend. Die Erklärung dieser Erscheinung besteht einfach darin, daß die Spannungen hier lediglich dem Mariotte'schen Gesetze folgen, weil die dem Geschosse nachströmende Luft keinen Wärmeverlust erleidet. Denken wir ferner an das gewöhnliche Blase- oder Pustrohr, so ist erstaunlich, bis auf welche Entfernungen ein geschickter Schütze damit treffen kann. Da hier von einer bestimmt gemessenen Elevation keine Rede sein kann, so beruht die Sicherheit des Schusses auf der geringen Krümmung der Flugbahn, also auf der bedeutenden Höhe der Anfangsgeschwindigkeit. Nun ist der Mensch nicht im Stande, die Luft bis auf zwei Atmosphären durch Blasen zu verdichten; der große Erfolg liegt also in der fortwährenden Zuführung neuer Luft, wodurch die Spannungen noch mehr als bei der Windbüchse gegen das schnelle Sinken geschützt werden.

61. Aus dem ersten dieser Versuche geht hervor, daß in den Fällen, wo wir das Mittel haben, die Pulvergase gegen das schnelle Sinken der Temperatur zu schützen, der erste Druck gar nicht so unerhört hoch zu sein braucht, um dennoch eine sehr bedeutende ballistische Wirkung erlangen zu lassen. Ein solches Mittel scheint uns das Barytpulver bieten zu können. Dieses Pulver erfordert für die, der durch gewöhnliches Pulver erreichten gleiche Geschwindigkeit ein viel größeres Gewicht; dadurch giebt es eine größere Gasmenge her, welche sich verhältnißmäßig weniger auszudehnen hat und folglich ihre hohe Temperatur mehr sichert.

Der zweite Versuch zeigt noch deutlicher, daß eine Zuführung neuer Gasmengen noch mehr im Stande ist, die höhere Spannung zu erhalten, ohne das Maximum derselben, welches die eigentliche Höhe des Angriffes auf das Rohr bezeichnet, überhaupt so hoch steigern zu müssen, als es beim gewöhnlichen Pulver geschieht.

62. Durch das Gesagte soll nicht ausgedrückt werden, daß wir durch diese neuen Pulversorten unter allen Umständen größere Geschwindigkeiten des Geschosses gewinnen; sondern es soll nur die Möglichkeit dessen gezeigt werden, was man darüber hört. Daß in diesen beiden Fällen eine Entlastung der hintern Rohrtheile, also speziell des Verschlusses und seiner Nachbarschaft erreicht werden kann, ist ebenfalls außer Zweifel. Versuche werden die Nützlichkeit entscheiden müssen. Da wir nun

an die vorliegende Arbeit uns gewagt haben, so dürfte es auch in unsrer Aufgabe liegen, über diesen Fall noch einige Worte zu sprechen, und den nach unsrer Ansicht einfachsten Versuchsweg zu zeigen.

Es verdient allemal der Weg den Vorzug, der am leichtesten zu betreten ist, der am schnellsten zum Ziele führt und der das Ziel am sichersten erreichen läßt, d. h. für die in Rede stehenden Verhältnisse, der über die Auslegung der gewonnenen Resultate keine Zweifel läßt.

Versuche zur direkten Messung der Gasspannungen sind zu viele schon gemacht worden, als daß man neuen Anstrengungen mit besonderem Vertrauen entgegen kommen müßte. Ohne Schießen geht es aber in keinem Falle; deshalb stützen wir unsern Vorschlag auch auf die direkte Beobachtung der Schießversuche ohne jede andere Vorrichtung, als unser Geschütz sie bietet. Wir besitzen die beiden abgeschnittenen 24 ℔der noch, und bitten dieselben zu bewahren.

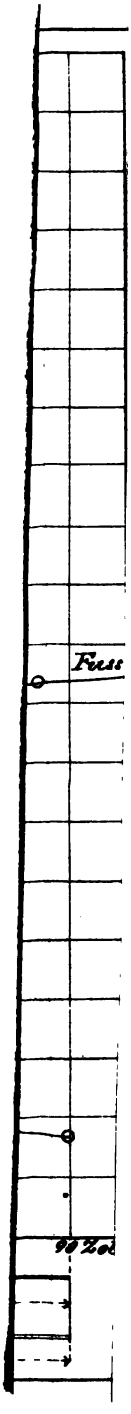
63. Unser Versuch besteht nun darin: Wir schießen aus dem normalen 24 ℔der unter einer Elevation von etwa 8 Grad mit irgend einer abgewogenen Menge des zu untersuchenden Schießmittels und treiben die Granate beispielsweise auf 2800 bis 2900 Schritt, so sagt die Schußtafel sofort, daß dies die Aequivalentladung von 4 ℔ unsers Pulvers ist, denn hat die Granate das Rohr verlassen, so ist es ganz gleichgültig, wodurch sie ihre Geschwindigkeit bekommen hat. Jetzt schießen wir zur Kontrolle der Schußtafel mit der ermittelten Pulverladung und werden uns sofort überzeugen, ob z. B. 4 ℔ richtig sind. Ist das nicht der Fall, so wird sich durch Zusatz an einer oder der andern Ladung die richtige Kombination schnell auffinden lassen. Mit den so festgestellten Ladungen schießen wir darauf aus dem 24 ℔der mit 30 Zoll Zuglänge. Gesetzt, unser Pulver trüge jetzt auf 2000 Schritt, das andere Pulver ebenfalls, dann sind beide Sorten ganz gleich. Trüge das zweite Pulver auf mehr als 2000 Schritt, dann wäre es brisanter als das unsrige, trüge es aber auf weniger als 2000 Schritt, dann wäre es weniger brisant. Dieser Versuch entscheidet die wichtige Frage in wenigen Stunden und bedarf keiner immerhin mißlichen wissenschaftlichen Nachhülfe.

64. Auf diese gewiß einfache und anschauliche Weise erkennen wir in einem gezogenen Mörser die schärfste „Pulverprobe", und erlauben uns den Vorschlag, auch für die Güte des Pulvers ihn als solchen zu ver-

wenden. Es scheint nicht zu verwerfen zu sein, den bisherigen glatten Probirmörser durch einen gezogenen Hinterladermörser zu ersetzen, um, wie es bei der Feststellung eines Gemäßes doch sein muß, durch die große Trefffähigkeit dieses Geschützes den Probirschuß so viel als möglich von störenden Einflüssen zu befreien — und so glauben wir, der praktischen Ballistik durch das Vorliegende mindestens so viel dienen zu können, als es die künstlichsten und theuersten Versuche je gethan haben. Der Zweck scheint doch nicht die Spekulation sondern die Praxis zu sein.

APR 28 1922

Berlin, gedruckt bei E. S. Mittler und Sohn.


Fuss
90 Zoll